

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE VIAS URBANAS EMPREGANDO
O MÉTODO DAS PASTILHAS
E
O PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE - DCP

Claudia Moreira Dal Pai

**Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina como parte
dos requisitos necessários para obtenção
do título de Mestre em Ciências em
Engenharia Civil.**

Florianópolis
Novembro de 2005

**INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE VIAS URBANAS EMPREGANDO
O MÉTODO DAS PASTILHAS E O PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE - DCP**

A presente dissertação foi julgada e aprovada como requisito final para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPEEC em sessão pública realizada em 30/11/2005.

Coordenador do Curso
Prof. Glicério Trichês, Dr.

Orientador
Prof. Glicério Trichês, Dr.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Glaci Trevisan Santos, Dr^a. (PROSUL)

Prof. Antônio Fortunato Marcon, Dr. (UFSC)

Prof. Marciano Maccarini, PhD. (UFSC)

Prof^a. Liedi Legi Bariani Bernucci, Dr^a. (USP)

DAL PAI, C.M. **Investigação de Vias Urbanas Empregando o Método das Pastilhas e o Penetrômetro Dinâmico de Cone – DCP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 253p.

*Dedico esta pesquisa a todos os **Meus Mestres.***

*Que me ensinaram e deixaram **Saudades.***

Mestres de Nossas Vidas.

Aquele que te Ensina, te Orienta e Encaminha....

Na Vida e Profissão..

Que não medem Esforços para te ensinar....

Que mesmo Distantes estão sempre Presentes.

E a sua Maior Gratificação é ver o Sucesso de cada um de Nós.

Aprendizes, para também um dia Seremos Mestres.

Por Termos cumprido nossa Missão.

Claudia Moreira Dal Pai

Floripa, 01/10/2005

AGRADECIMENTOS

*Obrigada meu Deus por tudo que me deste.
Por estar aqui em Floripa, onde me Sinto Feliz!
Pois tudo aqui é Familiar.
Por ter sempre colocado em Minha Vida Pessoas
Maravilhosas e dispostas a Ajudar no meu caminho.
Por estar perto dos Meus, de novos Amigos de
Santa Catarina e a Saudades dos que estão distantes.
Agradeço ao meu professor, Orientador por ter sido Paciente
E compreensivo comigo e ajudado a finalizar este trabalho.
Também, agradeço a Todos que me ajudaram a
Desenvolver esta pesquisa, pois se eu listar todos os Nomes,
Com certeza não caberá nesta página.
Dedico este meu trabalho a todas as **Pessoas que Amo Demais**.
Em especial a minha MÃE que está Todos os Dias em Meus Sonhos.
Agradeço ao Laboratório de Estrutura da UFSC
por disponibilizar o uso da Prensa de 300 toneladas nos ensaios e
ao DEINFRA pelo empréstimo dos cilindros de CBR.
Agradeço a CAPES – pela bolsa de estudo que muito contribuiu
para o desenvolvimento desta pesquisa.*

A Ti Meu Amigo

*São assim os amigos que a vida me deu!!!
Gente que Sonha junto e que Brinca,...
Que Briga e que se Zanga,...
Que PERDOA.
Um sentimento Forte, mais forte que a morte.
Nos faz ser AMIGOS no Riso e na dor.
Vidas que fluem juntas, rios que não se confluem e Vão Paralelos.
Pessoas que andam Lado a Lado,
E sabem que um dia por Força da Vida não se enxergarão jamais!!!
Saibamos deixar Um ao Outro,
Uma Saudades que faz bem a nossa ALMA.
Restará apenas um SONHO.
Que a Gente Viveu.*

ONELICE MOREIRA DAL PAI

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE QUADROS	xviii
LISTA DE TABELAS	xx
LISTA DE ABREVIATURAS	xxiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xxvii
RESUMO	xxviii
ABSTRACT	xxix

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	1
1.2 HIPÓTESE PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 JUSTIFICATIVA	3
1.5 ÁREA DE ESTUDO	4
1.6 ORGANIZAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	6

CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	7
2.2 CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS TROPICAIS E MÉTODO DAS PASTILHAS	10
2.2.1 Desenvolvimento da Metodologia MCT	10
2.2.2 Classificação Geotécnica dos Solos Segundo a Metodologia MCT	14
2.2.2.1 Ensaio Necessários	14
2.2.2.2 Classificação Geotécnica dos Solos Tropicais	16
2.2.3 Classificação Geotécnica dos Solos Tropicais pelo Método das Pastilhas Segundo a Metodologia MCT	28
2.2.3.1 Desenvolvimento da Metodologia	28
2.2.3.2 Comparação entre o Procedimento Básico ‘Original’ e o Método das Pastilhas	32

2.2.4 Identificação Geotécnica dos Solos Desvinculada da Metodologia MCT –	
Método das Pastilhas	33
2.2.5 Metodologia MCT – MODIFICADA (MCT-M)	35
2.3 CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA	36
2.3.1 Histórico DCP e Aplicação	36
2.3.2 O Equipamento DCP e Procedimento de Ensaio	38
2.3.3 Interpretação dos Resultados do DCP	41
2.3.4 Relações do Ensaio DCP e outros Ensaios	43
2.3.4.1 Ensaio DCP x Ensaio de CBR	43
2.3.4.2 Ensaio DCP x Ensaio de Resistência à Compressão Simples	47
2.3.4.3 Ensaio DCP x Módulo Resiliente obtido por Retroanálise	47
2.3.5 Campos de Aplicações do Ensaio DCP	48
2.3.5.1 Investigação de Estradas Não Pavimentadas	48
2.3.5.2 Controle Tecnológico da Camada Final de Terraplenagem	50
2.3.5.3 Aplicação do DCP na Avaliação de Camadas de Pavimentos Existentes	52
2.4 IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS, PEDOLÓGICOS E	
GEOMORFOLÓGICOS	52
2.4.1 Estudos Geológicos	53
2.4.2 Estudos Pedológicos	54
2.4.3 Estudos Geomorfológicos	55
2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL	55
2.5.1 Caracterização Geológica	56
2.5.2 Caracterização Pedológica	61
2.5.2.1 Descrição da Legenda dos Solos Identificados no Mapa Pedológico-Unidades Pedológicas	63
2.5.3 Caracterização Geomorfológica	64
2.6 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO	64
2.6.1 Método do DNER/79	65
2.6.1.1 Informações Gerais	65
2.6.1.2 Tráfego e Número Equivalente	65
2.6.1.3 Dimensionamento da Estrutura do Pavimento	66
2.6.2 Metodologia da Prefeitura Municipal de São Paulo/1992	67
2.6.2.1 Considerações sobre o Subleito	68
2.6.2.2 Estrutura Total do Pavimento	68

CAPÍTULO III METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 FASE 1: SELEÇÃO DO BAIRRO PARA DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	70
3.1.1 Localização das Jazidas de Solos Exploradas no Município e do tipo de Revestimento Primário das Vias Não Pavimentadas	71
3.1.2 Caracterização Geotécnica Preliminar dos Solos das Jazidas e do Revestimento Primário pelo Método das Pastilhas	71
3.1.3 Definição de Bairros mais Populosos e com Números Significativos de Vias Não Pavimentadas	71
3.2 FASE 2 : CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI	72
3.2.1 Seleção dos Solos Representativos da Unidade Pedológica do Bairro Selecionado e Caracterização do Material de Revestimento Primário	72
3.2.2 Caracterização Geotécnica dos Solos	72
3.2.3 Ensaio de Compactação, DCP e CBR	73
3.2.4 Avaliação da Influência das Dimensões do Molde nos Resultados DCP	75
3.3 FASE 3 : ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO A PARTIR DO DN	76
3.4 FASE 4: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	77
3.4.1 Determinação da Resistência e da Umidade dos Perfis de Solo das Vias Não Pavimentadas	77
3.4.2 Definição de DN e da Umidade do Solo de Fundação	78
3.4.3 Exemplo de Aplicação da Metodologia na Determinação da Espessura Total do Pavimento	79

CAPÍTULO IV SELEÇÃO DO BAIRRO PARA DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

4.1 LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE SOLO EXPLORADAS NO MUNICÍPIO	81
4.2 PRINCIPAIS VIAS NÃO PAVIMENTADAS	97
4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PRELIMINAR DOS SOLOS DAS JAZIDAS E DO REVESTIMENTO PRIMÁRIO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS	105

4.4 DEFINIÇÃO DE BAIRROS MAIS POPULOSOS E COM NÚMERO SIGNIFICATIVO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS	110
4.4.1 Informações obtidas na Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul	110
4.4.2 Verificação em Campo	110

CAPÍTULO V CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI

5.1 LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS	113
5.2 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DO ENSAIO DAS PASTILHAS	120
5.2.1 Cambissolo: 19 amostras – Jardim Acarai	123
5.2.2 Cambissolo: 19 amostras da Jazida J1-Morro do Ubatuba	124
5.3 ESCOLHA DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI E MORRO DO UBATUBA	125
5.4 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS	127
5.4.1 Jazida J5 - Cambissolo – horizonte B	128
5.4.2 Jazida J5 - Cambissolo - horizonte C	128
5.4.3 Jazida J1 - Cambissolo - horizonte C – Saibro	129
5.5 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO, DCP E CBR DOS SOLOS REPRESENTATIVOS	130
5.5.1 Cambissolo – horizonte C – Morro do Ubatuba – Saibro (Amostra 1)	130
5.5.1.1 Resultados do Ensaio de Compactação e DCP	130
5.5.1.2 Resultados do Ensaio de Compactação e CBR	138
5.5.2 Cambissolo – horizonte C – bairro Jardim Acarai (Amostra 2)	146
5.5.2.1 Resultados do Ensaio de Compactação e DCP	146
5.5.2.2 Resultados do Ensaio de Compactação e CBR	152
5.5.3 Cambissolo – Horizonte B – bairro Jardim Acarai (Amostra 3)	158
5.5.3.1 Resultados do Ensaio de Compactação e DCP	158
5.5.3.2 Resultados do Ensaio de Compactação e CBR	162
5.6 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DO MOLDE NOS RESULTADOS DCP	169
5.6.1 Moldagem dos Corpos-de-Prova	169
5.6.2 Resultados do Ensaio DCP	172
5.6.2.1 Cambissolo – horizonte C, grupo NS'-NG' (Amostra 2)	172

5.6.2.2 Cambissolo – horizonte B, grupo LG’ (Amostra 3)	175
---	-----

CAPÍTULO VI ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO

6.1 CONFEÇÃO DO ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO	180
6.2 ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO PARA O CAMBISSOLO – HORIZONTE C - SAIBRO (AMOSTRA 1)	183
6.3 ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO PARA O CAMBISSOLO – HORIZONTE C (AMOSTRA 2)	185
6.4 ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO PARA O CAMBISSOLO – HORIZONTE B (AMOSTRA 3)	187

CAPÍTULO VII APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

7.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DA UMIDADE DOS PERFIS DE SOLO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS	190
7.2 DEFINIÇÃO DO DN E UMIDADE DO SOLO DE FUNDAÇÃO	195
7.3 RESULTADOS DO DN E UMIDADE “IN SITU” POR RUA	199
7.4 DEFINIÇÃO DE DN PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO	201
7.5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO	203

CAPÍTULO VIII CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 MÉTODO DAS PASTILHAS	210
8.2 ENSAIO DE CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICO – DCP	211
8.3 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO	212
8.4 RECOMENDAÇÕES	212

CAPÍTULO XI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	215
--------------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A1 : RESULTADO DO ENSAIO CONDUZIDO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS DO JARDIM ACARAI E MORRO DO UBATUBA_____	221
ANEXO A2 : CURVA DCP E DIAGRAMA DA UMIDADE_____	228
ANEXO A3 : ÁBACOS DE DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE GEOTÉCNICA DE CAMBISSOLO SUBSTRATO GRANITÓIDES_____	244

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização do município de São Francisco do Sul no Estado de Santa Catarina	5
Figura 1.2: Imagem de satélite cedida pela Prefeitura de São Francisco do Sul	5
Figura 2.1: Grupo de ensaios da Metodologia MCT	14
Figura 2.2: Principais ensaios da Metodologia MCT	15
Figura 2.3: Ocorrências de solos lateríticos no Brasil	16
Figura 2.4: Carta de classificação de solos da Metodologia MCT	17
Figura 2.5: Gráfico de classificação geotécnica MCT – aproximação 2003	28
Figura 2.6: Carta de classificação geotécnica MCT pelo Método das Pastilhas	29
Figura 2.7: Tabela de identificação para uso do mini penetrômetro com pé, pastilhas secas normais ou comprimidas (solos arenosos), submetidas a reabsorção d'água normal ou lenta – aproximação 2002	31
Figura 2.8: Classificação MCT-M	35
Figura 2.9: Parâmetros classificatórios das 5 amostras	35
Figura 2.10: Equipamento Dynamic Cone Penetrometer (DCP)	39
Figura 2.11: Ensaio de DCP em campo	40
Figura 2.12: Curva DCP	42
Figura 2.13: Formato das curvas DCP	43
Figura 2.14: Curvas CBR x DN para solos finos	46
Figura 2.15: Curvas CBR x DN para solos granulares	46
Figura 2.16: Investigação de uma via a ser pavimentada	49
Figura 2.17: Curva DCP de um ponto investigado com o DCP	50
Figura 2.18: Curva de calibração CBR x DN	51
Figura 2.19: Resultados do ensaio DCP em campo	51
Figura 2.20: Mapa Litológico da Ilha de São Francisco do Sul	59
Figura 2.21: Mapa Geológico da Ilha de São Francisco do Sul	60
Figura 2.22: Mapa Pedológico da Ilha de São Francisco do Sul	62
Figura 2.23: Ábaco de dimensionamento da espessura do pavimento para tráfego muito leve (10^4) e leve (10^5) P01- PMSP/1992	68
Figura 3.1: Curva de compactação em três níveis de energia de uma Amostra	75
Figura 4.1: Jazida J1(Ca3) Cambissolo Morro do Ubatuba e Jazida J2(Ca3) Morro João Judas	82

Figura 4.2: Jazida J3 (PVL _a) Podzólico Vermelho-Amarelo - Morro da Esperança na Praia da Enseada	82
Figura 4.3: Jazidas J4(Cd ₂), J5 (Ca ₁), J6(Ca ₁), J7(Cd ₂), J8 (Ca ₁) e J9 (Ca ₁) Cambissolo em São Francisco do Sul	83
Figura 4.4: Jazida J10 (Ca ₃ e Ca ₂) Cambissolo - Morro da Laranjeira	84
Figura 4.5: Jazida J11(Ca ₂) Cambissolo - Morro da Palha	84
Figura 4.6: Jazidas J12, J13, J14, J15, J16 e J17 – Podzol (P1 e P2) e Podzol Hidromórfico (HP) e pontos de vias não pavimentadas	85
Figura 4.7: Jazida J18 (P3) Podzol na Gamboa e pontos das vias não pavimentadas em (P3) e Areias Marinhas (Am)	85
Figura 4.8: Jazida J1- Morro do Ubatuba, Praia do Ubatuba, três áreas abertas para extração de saibro em Unidade Pedológica de Cambissolo (Ca ₃)	86
Figura 4.9: Vista parcial de J1(Ca ₃) áreas de extração de saibro com blocos de rochas (área 1)	86
Figura 4.10: Jazida J2 (Ca ₃) Morro João Judas – Praia do Forte, em Unidade Pedológica de Cambissolo	87
Figura 4.11: Horizonte C, textura e cor variadas	87
Figura 4.12: Horizonte C, cor marrom, textura arenoso	87
Figura 4.13: Jazida J3 (PVL _a) Morro da Esperança na Praia da Enseada com presença de rocha granitóides visíveis	88
Figura 4.14: Jazida J4 (Ca ₂) morro no bairro Jardim Acarai – Cambissolo	89
Figura 4.15: Jazida J5 (Ca ₁) outro morro no Jardim Acarai – Cambissolo	89
Figura 4.16: Jazida J6 (Ca ₁) no bairro Água Branca – Cambissolo	90
Figura 4.17: Jazida J7 (Cd ₂) no bairro Paulas – Cambissolo	90
Figura 4.18: Jazida J8 (Ca ₁) no bairro Rocío Pequeno – Cambissolo	91
Figura 4.19: Jazida J9 (Ca ₁) no bairro Morro Grande - Cambissolo com horizonte C	91
Figura 4.20: Vista parcial da Jazida J10 (Ca ₃) Morro da Laranjeira – Cambissolo	92
Figura 4.21: Estrada da Laranjeira (Ca ₂) Cambissolo, corte em horizonte B	92
Figura 4.22: Jazida J11 (Ca ₁) vista parcial do Morro da Palha – Cambissolo	93
Figura 4.23: Jazida J12 (P2) no bairro Sandra Regina, textura arenosa de cor ferrugínea	93
Figura 4.24: Podzol (P2), horizonte E alábico seguido de um horizonte Bh enegrecido	94
Figura 4.25: Jazida J13 (P2) Podzol textura arenosa, cor ferrugínea, Praia do Ubatuba	94
Figura 4.26: Jazida J14 (P1) Podzol, no bairro Iperoba, textura arenosa de cor ferrugínea	95

Figura 4.27 : Jazida J15 Podzol (limite de P1 e P2) vista geral de areia branca e solta, Iperóba _____	95
Figura 4.28: Vala da Figura 4.27 ao lado _____	95
Figura 4.29: Jazida J16 (P2) Podzol na rua Ana Mônica – bairro Sandra Regina _____	96
Figura 4.30: Jazida J17 (HP) Podzol Hidromórfico, rua Bom Retiro-Praia de Ubatuba _____	96
Figura 4.31: Rua Ana Mônica, revestimento primário de saibro em P2, Sandra Regina _____	97
Figura 4.32: Rua Ana Mônica em (P2), vista da Figura 4.31, solo arenoso cor ferrugíneo _____	97
Figura 4.33: Rua 16, revestimento primário de saibro em Podzol (P2) NH _____	98
Figura 4.34: Seção transversal, Rua 16, Podzol (P2), textura arenosa de cor amarela _____	98
Figura 4.35: Rua 304, revestimento primário de saibro sobre Podzol NH (P2) _____	99
Figura 4.36: Rua 302 com revestimento primário de saibro, Podzol NH(P2), textura arenosa cor ferrugínea _____	99
Figura 4.37: Rua João Amarante, revestimento primário de saibro de pequena espessura em horizonte B (Ca3) _____	100
Figura 4.38: Rua com revestimento primário de saibro em horizonte C (Ca1) no bairro Água Branca _____	100
Figura 4.39: Rua Vicente S. de Oliveira, revestimento primário de saibro em Cambissolo _____	101
Figura 4.40: Rua Ângelo Brehn, revestimento primário de saibro sobre horizonte C _____	101
Figura 4.41: Rua Franklin de Oliveira, fina camada de revestimento primário de saibro, alto da Jazida J5 _____	102
Figura 4.42: Rua Francisco Mascarenhas sem revestimento primário em Unidade Pedológica de Areia Marinha _____	102
Figura 4.43: Rua Franklim de Oliveira sem revestimento primário, num dia de tempo bom _____	103
Figura 4.44: Rua Fabrício Maia Moreira sem revestimento primário, num dia de chuva _____	103
Figura 4.45: Revestimento primário de saibro sobre Unidade Pedológica de Podzol _____	104
Figura 4.46: Via sobre Unidade Pedológica Ca2, horizonte B, textura argilosa, praticamente sem saibro _____	104
Figura 4.47: Sequência do ensaio MP pelo procedimento MCT _____	105
Figura 4.48: Placa da obra _____	111
Figura 4.49: Último trecho concluído em bloco sextavado desta rua _____	111
Figura 4.50: Vista parcial do bairro Jardim Acarai _____	111
Figura 4.51: Vista parcial do bairro Sandra Regina em Podzol Não Hidromórfico _____	112
Figura 4.52: Localização do bairro Jardim Acarai em São Francisco do Sul –	

Mapa Pedológico	112
Figura 5.1: Bairro Jardim Acarai - traçado das vias não pavimentadas e pontos amostrados n.ºs. 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 e 61	113
Figura 5.2: Jazida J1 (Ca3) Cambissolo Morro do Ubatuba, áreas 2 e 3, “saibro” – pontos amostrados	114
Figura 5.3: Amostra n.º.50, horizonte B e C	115
Figura 5.4: Coleta da amostra n.º.51 do horizonte B	116
Figura 5.5: Amostra n.º.51, horizonte B, cor vermelho, argilosa	116
Figura 5.6: Início da escavação com talhadeira	117
Figura 5.7: Amostras n.ºs.54.1, 54.2 e 54.3, do horizonte B, de cor vermelho a rosa claro	117
Figura 5.8: Amostra n.º.55, cor amarela, argilosa	118
Figura 5.9: Amostra n.º.56, cor marrom, argilosa	118
Figura 5.10: Amostra n.º.58, horizonte C, cor roxa variegada	119
Figura 5.11: Jazida J5, horizonte B e C, Amostras n.ºs.60 e 61	119
Figura 5.12: Jazida J5, Amostra n.º.60, horizonte B e C	120
Figura 5.13: Jardim Acarai – Jazida J5: pontos de coleta de horizonte B: Ca1 – LG’ e horizonte C: Ca1 – NS’-NG’ (substrato granitóide)	126
Figura 5.14: Jazida J1 - Morro do Ubatuba: Área 3 - coleta do horizonte C: Ca3 – NA’	126
Figura 5.15: Ensaio DCP no cilindro CBR	131
Figura 5.16: Curvas de compactação da Amostra 1	132
Figura 5.17: Variação de DN com a umidade da Amostra 1	133
Figura 5.18: Variação do DN com a umidade da Amostra 1	134
Figura 5.19: Variação do DN com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	136
Figura 5.20: Variação de CBR com a umidade da Amostra 1	140
Figura 5.21: Variação de CBR com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	141
Figura 5.22: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 1	144
Figura 5.23: Variação CBR x DN da Amostra 1	145
Figura 5.24: Curvas de compactação da Amostra 2	147
Figura 5.25: Variação de DN com a umidade da Amostra 2	147
Figura 5.26: Variação de DN com a umidade da Amostra 2	148

Figura 5.27: Variação de DN com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2	150
Figura 5.28: Variação de CBR com a umidade da Amostra 2	153
Figura 5.29: Variação de CBR com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2	154
Figura 5.30: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 2	156
Figura 5.31: Variação de CBR x DN da Amostra 2	158
Figura 5.32: Curvas de compactação da Amostra 3	159
Figura 5.33: Variação de DN com a umidade da Amostra 3	162
Figura 5.34: Variação de DN com a umidade da Amostra 3	161
Figura 5.35: Relação CBR e umidade da Amostra 3	163
Figura 5.36: Variação de CBR com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3	165
Figura 5.37: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 3	167
Figura 5.38: Variação de CBR x DN da Amostra 3	169
Figura 5.39: Esquema de compactação do CP no cilindro Grande	170
Figura 5.40: Prensagem de um corpo-de-prova	171
Figura 5.41: Realização do ensaio DCP no CP de grandes dimensões: a) CP prensado e gabarito, b) execução do ensaio DCP e c) CP após penetração do DCP da Amostra 3	171
Figura 5.42: Variação do DN com a umidade do cilindro CBR e cilindro Grande da Amostra 2	175
Figura 5.43: Variação do DN com a umidade do cilindro CBR e cilindro Grande da Amostra 3	178
Figura 6.1: Ábaco da dimensionamento da Prefeitura Municipal de São Paulo (1992)	180
Figura 6.2: Comparação das curvas do DNER e PMSP para tráfego muito leve (10^4) e leve (10^5) solicitações do Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas	181
Figura 6.3: ÁBACO 1 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprólítico (saibro), grupo NA' (MCT): Corpo de Aterro “in situ” PMSP/92	184
Figura 6.4: ÁBACO 2 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprólítico (saibro), grupo NA' (MCT): Corpo de Aterro “in situ” DNER/79	184
Figura 6.5: ÁBACO 3 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem	

intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro "in situ", PMSP/92	186
Figura 6.6: ÁBACO 4 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro "in situ", DNER/79	186
Figura 6.7: ÁBACO 5 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro "in situ", PMSP/92	188
Figura 6.8: ÁBACO 6 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro "in situ", DNER/79	188
Figura 6.9: ÁBACO 7 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Regularização/Reforço, PMSP/92	189
Figura 6.10: ÁBACO 8 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Regularização/Reforço, DNER/79	189
Figura 7.1: Haste do DCP e tubo amostrador de 16 mm de diâmetro por 150mm de comprimento	191
Figura 7.2: Furo DCP (menor) e furo para umidade (maior)	191
Figura 7.3: Coleta de amostra para a determinação de umidade no perfil de solo do horizonte B da Unidade Pedológica Cambissolo, na rua Fabrício Maia Moreira, seção 2, posição TRLD	192
Figura 7.4: Coleta de amostra para a determinação de umidade no perfil de solo do horizonte C da Unidade Pedológica Cambissolo, na rua Ângelo Brehn, seção 22, posição TRLE	192
Figura 7.5: Curvas DCP e diagrama de umidade por seção transversal	193
Figura 7.6: Eixo das vias e localização das seções investigadas no bairro Jardim Acarai	194
Figura 7.7: Amostras do horizonte C do bairro Jardim Acarai, na rua Ailton da Silva e Contorno	195
Figura 7.8: Curva DCP na posição TRLD a seção nº. 38	196
Figura 7.9: Curva DCP em três posições da seção nº.38	197
Figura 7.10: Diagrama de umidade na seção 38 em duas posições	198
Figura 7.11: Flutuação de DN e umidade "in situ" do solo de fundação no entorno da energia Normal após construção da estrutura do pavimento – Cambissolo – horizonte B	202
Figura 7.12: DN e umidade "in situ" de solo de fundação no trecho de 190 m da rua Franklin de Oliveira	204

Figura 7.13: DN e umidade “in situ” das seções do trecho adotado no dimensionamento da espessura total do pavimento	205
Figura 7.14: ÁBACO 5 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG’ (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92	207
Figura 7.15: ÁBACO 6 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG’ (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”,DNER/79	207
Figura 7.16: Esquema da estrutura do pavimento após compactação da camada final de aterro (PMSP/92)	209

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Classes de Solos: comparação do novo sistema brasileiro de classificação dos Solos com o anterior (EMBRAPA, 1999)	8
Quadro 2.2: Símbolos alfabéticos utilizados no novo sistema de classificação dos solos	9
Quadro 2.3: Propriedades e utilização dos grupos de solos da Metodologia MCT	24
Quadro 2.4: Valores numéricos das propriedades dos grupos que complementam o Quadro 2.3	25
Quadro 2.5: Relações CBR x DN da literatura	44
Quadro 3.1: Síntese das fases da pesquisa: objetivos e resultados pretendidos	80
Quadro 4.1: Sequência do ensaio expedito pelo Método das Pastilhas	107
Quadro 4.2: Resultados da classificação geotécnica dos solos de jazidas e revestimento primário	108
Quadro 5.1: Amostras coletadas no bairro Jardim Acarai	115
Quadro 5.2: Caracterização geotécnica dos solos pelas pastilhas, bairro Jardim Acarai (Ca1)	121
Quadro 5.3: Caracterização geotécnica dos solos pelas pastilhas, Morro do Ubatuba (Ca3), material empregado em revestimento primário	122
Quadro 5.4: Resumo da caracterização geotécnica dos solos da Unidade Geotécnica Cambissolo substrato Granitóides, predominando-se os grupos abaixo:	122
Quadro 5.5: Grupos de solos para ensaio de laboratório – Jardim Acarai e Morro do Ubatuba	126
Quadro 5.6: Vias a serem investigadas com o DCP – determinar resistência e umidade	127
Quadro 5.7: Ensaio de caracterização e classificação HRB e USC	127
Quadro 5.8: Classificação geotécnica pelo Método das Pastilhas	127
Quadro 5.9: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 1	131
Quadro 5.10: Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima da Amostra 1	132
Quadro 5.11: Resultados dos ensaios de compactação e CBR da Amostra 1	139
Quadro 5.12: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 2	146
Quadro 5.13: Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima da Amostra 2	146
Quadro 5.14: Resultados dos ensaios de compactação e CBR da Amostra 2	152
Quadro 5.15: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 3	158
Quadro 5.16: Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima da Amostra 3	159
Quadro 5.17: Resultados dos ensaios de compactação e CBR da Amostra 3	163

Quadro 5.18: Resultado do ensaio DCP da Amostra 2 – Repetibilidade	172
Quadro 5.19: Resultado do ensaio DCP da Amostra 2 – Repetibilidade	173
Quadro 5.20: Resultado do ensaio DCP da Amostra 3 – Repetibilidade	176
Quadro 5.21: Resultado do ensaio DCP da Amostra 3 – Repetibilidade	177
Quadro 7.1: DN e umidade “in situ” do horizonte C do bairro Jardim Acarai	199
Quadro 7.2: DN e umidade “in situ” do horizonte B do bairro Jardim Acarai	200
Quadro 7.3: Solo de Fundação, DN e umidade “in situ” da rua Franklin de Oliveira, horizonte B – grupo LG’	203
Quadro 7.4: Solo de Fundação, DN e umidade “in situ” para dimensionamento de Ht para a rua Franklin de Oliveira, horizonte B – grupo LG’	205
Quadro A1.1: Resultados-Método das Pastilhas pelo procedimento MCT do Jardim Acarai	222
Quadro A1.2: Resultados-Método das Pastilhas pelo procedimento de GGodoy-Bernucci do Jardim Acarai	223
Quadro A1.3: Resultados-Método das Pastilhas pelo procedimento MCT da Jazida J1- Morro do Ubatuba	225
Quadro A1.4: Resultados - Método das Pastilhas pelo procedimento de Godoy-Bernucci da Jazida J1-Morro do Ubatuba	226
Quadro A2.1: Seções investigadas no bairro Jardim Acarai – São Francisco do Sul	229

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Parâmetros estatísticos da regressões linear DN x ω da Amostra 1	134
Tabela 5.2: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	135
Tabela 5.3: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	136
Tabela 5.4: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	138
Tabela 5.5: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla DN x (ω, γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	138
Tabela 5.6: CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	140
Tabela 5.7: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	141
Tabela 5.8: CBR, ω de moldagem e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	142
Tabela 5.9: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla de CBR x (ω, γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	142
Tabela 5.10: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	144
Tabela 5.11: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1	145
Tabela 5.12: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω da Amostra 2	148
Tabela 5.13: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2	149
Tabela 5.14: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2	149
Tabela 5.15: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2	151
Tabela 5.16: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla DN x (ω, γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2	151

Tabela 5.17: CBR e umidade no intervalo de 2p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	154
Tabela 5.18: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	154
Tabela 5.19: CBR, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	155
Tabela 5.20: Parâmetros estatísticos de regressão múltipla de CBR x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	155
Tabela 5.21: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	157
Tabela 5.22: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	157
Tabela 5.23: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω da Amostra 3	160
Tabela 5.24: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	161
Tabela 5.25: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla DN x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	162
Tabela 5.26: CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	164
Tabela 5.27: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	165
Tabela 5.28: CBR, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	166
Tabela 5.29: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla de CBR x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	166
Tabela 5.30: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	168
Tabela 5.31: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 3	168
Tabela 5.32: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2	174
Tabela 5.33: Parâmetros estatísticos da regressões linear DN x ω no intervalo de 2 p.p.	

abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2 do cilindro Grande	174
Tabela 5.34: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido Amostra3	177
Tabela 5.35: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p.	
abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3 do cilindro Grande	178
Tabela 7.1: Parâmetros Estatísticos de DN	206

LISTA DE ABREVIATURAS

- A: horizonte A
- A: modelado Acumulação, (forma de relevo – planícies, terraços de ambiente deposicional/sedimentar)
- AASHTO: American Association State Highway
- ABPv: Associação Brasileira de Pavimentação
- AM: Areia quartzosa Marinha
- AP: Areia de Praia
- B: horizonte B
- B: camada de Base do pavimento
- Bh: horizonte B como acumulação iluvial de matéria orgânica
- Bi: horizonte B incipiente
- BR: Rodovia Federal
- Bs: horizonte B com acumulação iluvias de sexquióxidos com matéria orgânica
- C: horizonte ou camada C
- C: Unidade Pedológica de Cambissolo
- Ca: Cambissolo álico
- CBR: California Bearing Ratio
- CBUQ: Concreto Betuminoso Usinado a Quente
- Cd: Cambissolo distrófico
- Ct: Contração da pastilha
- CTC: Capacidade de Troca de Cátions
- CV: Coeficiente de Variação
- D: modelado de Dissecação (forma de relevo – montanhas, morros e colinas)
- DCP: Dynamic Cone Penetrometer
- DCPI: DCP penetration resistance
- DER-SP: Departamento de Estradas de Rodagem – São Paulo
- DFID: Departament for International Development
- DIGEO/SUL: Divisão de Geografia Sul de Santa Catarina
- DN: DCP Number ou Índice de Penetração Dinâmico
- DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte

E: Unidade Pedológica Espodossolo, o mesmo que Podzol
 EIXO ou EX: Eixo da pista
 EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
 EMURB: Empresa Municipal de Urbanização
 EPUSP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
 ESP: Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas
 EUA: Estados Unidos da América
 GPS: Global Positon System
 H0 e H1: Hipótese nula e Hipótese alternativa
 h_{20} : Espessura da sub-base
 h_n : Espessura do reforço
 HOa: Solo orgânico álico
 HRB: Highway Research Board
 Ht: Espessura total do pavimento
 I: Energia Proctor Intermediária
 IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IG: Índice de Grupo
 IP: Índice de Plasticidade
 ISC: Índice Suporte Califórnia
 ITA: Instituto Tecnológico de Aeronáutica
 J: Jazida
 K_B : Coeficiente estrutural da base
 K_R : Coeficiente estrutural do revestimento
 K_{Ref} : Coeficiente estrutural do reforço
 K_{SB} : Coeficiente estrutural da sub-base
 L: Laterítico
 LA: Areia Laterítica quartzosa
 LA': Solo Arenoso Laterítica
 LG': Solo Argiloso Laterítico
 LL: Limite de Liquidez
 LP: Limite de Plasticidade
 M: Energia Proctor Modificada
 MCT: Miniatura, Compactado, Tropical

MCV: Moisture Condition Value
 ME: Método de Ensaio
 MD: Método de Dimensionamento
 Mn/DOT: Minnesota Department of Transportation
 Mn/Road: Minnesota Road Research Project
 MPa: Mega Pascal
 N: Não Laterítico
 N: Número equivalente de operações do eixo simples padrão de 8,2 toneladas
 N: energia Proctor Normal
 n: Tamanho da amostra
 NA: Areias, siltes e misturas de areias e siltes com predominância de grão de quartzo e/ou mica, não laterítico;
 NA': Solo Arenoso não laterítico
 NBR: Norma Brasileira
 NG': Solo Argiloso não laterítico
 NH: Solo não hidromórfico
 NOVACAP: Companhia Urbanizadora da Nova Capital
 NS': Solo Silteso não laterítico
 ORN: Overseas Road Note
 P: Unidade Pedológica de Podzol
 p : Probabilidade
 P01: Procedimento 01
 Pc: Pastilha comprimida
 Pf: Pastilha submetida a reabsorção lenta
 PH: Podzol Hidromórfico
 PMSP: Prefeitura Municipal de São Paulo
 Pn: Pastilha normal
 PVL: Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico
 QHa: Sedimentos aluvionares
 QHca: Sedimentos colúvio-aluvionares
 QHe: Sedimentos de arenosos de origem eólicas
 QHfl: Sedimentos fluvio-lagunares
 QHm: Sedimentos marinhos

QHmg: Sedimentos marinhos argilo-siltico-arenosos de mangues

QHmp: Sedimentos marinhos atuais

R: Camada mineral de material consolidado, Rocha

R: Camada Revestimento do pavimento

r^2 : Coeficiente de determinação

RA: Rocha Alterada

RADAM: Remote Area Denial Artillery Munition

S_b : Erro padrão

SC: Rodovia estadual de Santa Catarina

S_e : Erro padrão

SM: Solo indiscriminado de mangue

T: Transicional

t: Distribuição t-Student

Ta: Argila de atividade alta

TA': Transicional arenoso

TA'G': Transicional Arenoso-Argiloso

Tb: Argila de atividade baixa

TG': Transicional Argiloso

TRL: Transport Research Laboratory

TRLD: Trilha de roda lado direito

TRLE: Trilha de roda lado esquerdo

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

UK: Unidet Kingdon (Inglaterra)

USA: United States of American

USACE: United States Army Corps of Engineers

USCS: Unified Soil Classification System

UTM: Universal Transverso de Mercator

USC: Unconfined Compressive Strenght

LISTA DE SÍMBOLOS

α : significância (%)

ω : umidade do solo (%)

μ : média da população

\varnothing : diâmetro (cm ou mm)

β ou b_0 : coeficiente de regressão – a inclinação (interseção)

γ_d : peso específico aparente seco do solo (KN/m³)

RESUMO

Pesquisadores em todo o mundo estão sempre procurando avaliar o comportamento mecânico e hidráulico dos solos, principalmente, as propriedades de resistência, compressibilidade e permeabilidade, fundamentais para projetar pavimentos com qualidade e durabilidade. Tecnologias simples como os ensaios pelo *Método das Pastilhas* e *Cone de Penetração Dinâmica* - DCP: “Dynamic Cone Penetrometer”, também, conhecido por Cone Sul Africano, podem ser utilizados com eficiência para avaliação das propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos tropicais a serem empregados na pavimentação e, que em comum, são equipamentos simples, baratos, de procedimentos fáceis e de rápida obtenção de resultados. Com essas características, as Prefeituras Municipais de pequeno e médio porte poderiam aplicar um mínimo de engenharia em seus projetos e execução de pavimentos de urbanos. O Método das Pastilhas é um procedimento de identificação expedita dos solos tropicais, que permite avaliar qualitativamente as propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos compactados. Durante o ensaio são observadas diferentes características como contração, expansão, penetração, granulometria, trincas dentre outras, permitindo hierarquizar e classificar os solos, separando-os em duas grandes classes: os de comportamento lateríticos e os de comportamento não lateríticos (saprolíticos). O equipamento DCP de investigação geotécnica permite avaliar a resistência ao longo de um perfil de solo, desde a superfície até a uma profundidade de 800-1000 mm. Como resultado, identifica-se através de uma curva, a variação da resistência no perfil, definindo-se as espessuras das camadas no perfil correspondente à resistência. Com os resultados de resistência do solo é possível dimensionar a espessura total do pavimento necessário para um dado tráfego. Outra aplicação do DCP é o seu emprego como um equipamento de controle tecnológico da camada final de terraplenagem e das camadas da estrutura do pavimento. O objetivo da pesquisa é empregar tecnologias simples de caracterização dos solos da Ilha de São Francisco do Sul, no Norte do Estado Santa Catarina e implementar estas tecnologias no dimensionamento de vias urbanas do município. A pesquisa é desenvolvida em várias etapas, desde os estudos dos mapas geológico e pedológico da Ilha, para conhecer e definir os tipos de solos predominantes na região que serão investigados pelo Método das Pastilhas e DCP, bem como, dimensionar da estrutura do pavimento em função da resistência de campo obtida com o DCP e determinar a umidade “in situ” com o próprio DCP. Essa metodologia foi aplicada em um bairro de uma Unidade Geotécnica predominante.

ABSTRACT

Researchers in the whole world are always looking for to evaluate the mechanical and hydraulical behavior of soils, mainly, the strength properties, compressibility and permeability, basic to project pavements with quality and durability. Simple technologies as the *Disk Method* and *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), also known as South African Cone, can be used with efficiency for evaluating the mechanical and hydraulical properties of tropical soil to be employed in pavement and, that in common, they are simple equipments, cheap, of easy procedure and fast attainment of results. With these characteristics, the small City halls could apply a minimum of engineering in its projects and execution of urban pavements. The Disk Method is a procedure of identification of Tropical soils, that allows to evaluate qualitatively the mechanical and hydraulical properties of compacted soil, being observed during the test. Some characteristics as contraction, expansion, penetration, grading composition, cracking amongst others, allow to organize and classify soils, separating them in two great groups: one that has lateritic behavior and another that has non-lateritic behavior (saprolitic). The DCP equipment of geotechnical prospection, allows evaluating the resistance throughout a soil profile, from the surface up to the depth of 800-1000 mm. As result, the variation of the strength in the profile is identified through a curve, defining the thicknesses of the layers. With the results of strength of the soil is possible to measure the total thickness of the necessary pavement for a specific traffic. Another application of the DCP is its function as an equipment of technological control of the final layer of ground leveling and the layers of the structure of the pavements. The main goal of the research is to use simple technologies to characterize the soil from São Francisco do Sul Island, in the North of Santa Catarina and to implement these technologies in the design of urban pavements. The research was developed in several stages, beginning from the studies of geologic and pedologic maps of the Island, to know and to define the types of predominant soils in the region that will be investigated by the Disk Method and DCP, up to the design of the structure of the pavement as a function of the strength and humidity obtained with the DCP method. This methodology was applied in a district of predominant a Geotechnical Unit.

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

O emprego de solos locais e lindeiros às vias é fundamental para o desenvolvimento de uma pavimentação urbana de baixo custo. Entretanto, estes só podem ser devidamente considerados, se for utilizado uma metodologia apropriada para a determinação das propriedades de resistência e compressibilidade e verificação de sua adequabilidade para o emprego.

Um procedimento amplamente utilizado para caracterizar estas propriedades é o ensaio de CBR (California Bearing Ratio). Porém, quando se trata do desenvolvimento de projetos e execução de pavimentos urbanos de baixo e médio volume de tráfego, nem sempre uma investigação geotécnica é realizada. Diversas são as justificativas dos administradores, mas principalmente por ser um procedimento relativamente caro, trabalhoso e demorado quanto à obtenção de resultados, e para pavimentar com “lajotas” não é necessário projeto. Em não se fazendo a investigação geotécnica, tão pouco será motivo de preocupação o controle de qualidade da execução.

Tal visão distorcida, propiciada pela falta de formação e/ou conhecimento sobre o assunto, tem sido a causa de desperdício de recursos em muitas prefeituras face ao péssimo desempenho apresentado pelas “soluções” de pavimentação executadas.

Acredita-se que a agregação de conceitos mínimos de engenharia a partir do desenvolvimento ou adaptação de procedimentos simples de investigação geotécnica e de controle de execução, para que as prefeituras municipais de pequeno e médio porte possam aplicar uma engenharia mínima em seus projetos e na execução da pavimentação poderá propiciar um grande salto na qualidade e economia de recursos para estas prefeituras.

O presente trabalho propõe-se a mostrar o emprego do Cone de Penetração Dinâmico (Dynamic Cone Penetrometer – DCP) para avaliar a resistência dos solo e o Método das Pastilhas (MP) para caracterização física dos solos, os quais podem agregar engenharia ao projeto e à execução de pavimentos de vias urbanas de baixo e médio volume de tráfego, com um investimento ao alcance de prefeituras com poucos recursos.

O ensaio com o equipamento DCP é um procedimento semi não destrutivo, que permite caracterizar a capacidade de suporte ao longo de um perfil de solo, desde a superfície até uma profundidade de 800mm. Como resultado da investigação geotécnica, identifica-se, através da curva penetração x profundidade, a variação da capacidade de suporte ao longo da profundidade do perfil de solo, definindo-se as espessuras das camadas e o correspondente suporte. A sua fácil operação e a capacidade de avaliar a resistência do solo com a profundidade sem a necessidade de escavação, aliado ao alto grau de repetibilidade de seus resultados são vantagens importantes para utilizá-lo rotineiramente como um equipamento de investigação geotécnica (LIVNEH, 1987).

O Método das Pastilhas (MP) é um procedimento de identificação expedita dos solos tropicais, desenvolvido no Brasil, por Nogami e Cozzolino (1985), com base na metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).(NOGAMI; VILLIBOR, 1995). O ensaio permite identificar os solos de acordo com o seu grau de desenvolvimento pedológico, separando-os em duas grandes classes: os solos de comportamento laterítico e os de comportamento não laterítico.(GODOY e BERNUCCI, 1998).

A região onde o procedimento proposto foi avaliado, localiza-se ao Norte do Estado de Santa Catarina - Ilha de São Francisco do Sul. Inicialmente, buscou-se através de estudos de mapas pedológico e geológico, atualizados em 1999 por Fernandes do DIGEO/SUL - SC (Divisão de Geografia Sul de Santa Catarina) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), identificar as unidades pedológicas predominantes na região.(FERNANDES, 1999). Na sequência, foi selecionado um bairro populoso do município que tivesse um número significativo de vias não pavimentadas para aplicação da metodologia.

1.2 HIPÓTESE PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A hipótese a ser testada com o desenvolvimento da pesquisa é: para pavimentos urbanos de baixo a médio volume de tráfego, o procedimento expedito do Método das Pastilhas, o Cone de Penetração Dinâmico (DCP) e a Umidade do Solo de Fundação são capazes de caracterizar os comportamentos mecânico e hidráulico do solo, necessários e suficientes para escolha de solos e dimensionamento do pavimento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral será viabilizar o emprego do Método das Pastilhas e do Ensaio de DCP na investigação geotécnica do solo de fundação de uma via, dimensionar a espessura total da estrutura do pavimento, bem como poder empregá-los no controle tecnológico de execução dos pavimentos de vias urbanas de prefeituras municipais com poucos recursos financeiros.

1.3.2 Objetivos Específicos

São definidos os objetivos abaixo:

- Analisar a possibilidade de selecionar material para pavimentação, utilizando as propriedades determinadas no ensaio Método das Pastilhas, principalmente, observando o comportamento expansivo do solo durante os ensaios tradicionais de laboratório;
- Criar um ábaco de dimensionamento de pavimento que forneça a espessura total do pavimento (Ht) em função do índice de penetração do DCP (DN – “DCP Number”) de campo e do tráfego;
- Avaliar a influência das dimensões do molde de compactação (tamanho do cilindro) nos resultados do DCP, além de avaliar a repetibilidade do ensaio DCP em corpos-de-prova moldados em um cilindro com diâmetro de 480mm por 400mm de altura;
- Difundir a utilização do ensaio MP e o ensaio de DCP, na fase de investigação geotécnica e controle tecnológico, possibilitando às prefeituras municipais o emprego de técnicas e de uma engenharia mínima nos serviços de pavimentação urbana; e,
- Empregar os mapas Pedológico, Geológico e Geomorfológico na escolha das Unidades Geotécnicas predominantes na Ilha de São Francisco do Sul, na fase preliminar dos estudos geotécnicos para programar e definir as amostragens de solo e, também, salientar que os conhecimentos pedológicos e geológicos facilitam a compreensão do comportamento geotécnico dos solos a serem utilizados em pavimentação.

1.4 JUSTIFICATIVA

Normalmente tem-se constatado que prefeituras de pequeno e médio porte pouco exigem em relação ao emprego de técnicas de engenharia na execução de obras de pavimentação,

notadamente as vias de menor fluxo de veículos ou vias secundárias revestidas com peças de concreto para pavimentação. Em parte, os administradores justificam tal falta de zelo pela coisa pública sob a ótica de que os serviços de investigação geotécnica e controle de execução são caros e não se fazem necessários em tais obras, diante dos escassos recursos disponíveis.

Também, o desconhecimento de técnicas simples, barata e de fácil acesso, que a seus olhos estariam disponíveis somente aos grandes centros, inibe a exigência de conceitos mínimos de engenharia nestas obras.

É muito provável que se houvesse uma tecnologia barata e de fácil alcance, que potencialmente induziria a um aumento de durabilidade dos pavimentos executados, as prefeituras seriam as primeiras a lançar mão ao uso desta tecnologia.

1.5 ÁREA DE ESTUDO

A área delimitada para estudo é a Ilha de São Francisco do Sul, situada no município de mesmo nome, ao Norte do Estado de Santa Catarina. O município de São Francisco do Sul apresenta uma superfície de 496,9km², sendo que aproximadamente 60% dessa área constitui a Ilha de São Francisco do Sul e o restante, faz parte da região continental. Este município está contido nas folhas planialtimétricas SG-22-Z-V-II-2 de São Francisco do Sul e SG-22-Z-B-II-4 de Araquari, editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE na escala 1:50.000 e suas coordenadas são: Latitude de 26° 14' 36" S e Longitude de 48°38'17".(FERNANDES, 1999).

Limita-se ao Norte com os municípios de Itapoá e Garuva, ao Oeste com o município de Joinville, ao Sul com os municípios de Barra do Sul e Araquari e, ao Leste com o Oceano Atlântico.(FERNANDES, 1999).

As Figuras 1.1 e 1.2 mostram, respectivamente, a localização do município no Estado de Santa Catarina e a área total da Ilha obtida por imagem de satélite, onde se visualizam os centros urbanos.



Figura 1.1: Localização do município de São Francisco do Sul no Estado de Santa Catarina.



Figura 1.2: Imagem de satélite cedida pela Prefeitura de São Francisco do Sul.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo I apresenta uma descrição geral do tema a ser desenvolvido na pesquisa.

No Capítulo II são apresentadas revisões bibliográficas sucintas sobre a classificação dos solos no Brasil; dos procedimentos de classificação geotécnica dos solos tropicais; do equipamento DCP; importância dos estudos geológicos, pedológicos e geomorfológico; caracterização da Ilha de São Francisco do Sul; e os métodos de dimensionamento de pavimentos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem de 1979 (DNER/79) e da Prefeitura Municipal de São Paulo de 1992 (PMSP/92).

No Capítulo III é apresentada a metodologia da pesquisa desenvolvida.

O Capítulo IV refere-se a Fase 1 da metodologia da pesquisa, na qual é definida a área do município da Ilha de São Francisco do Sul onde foi realizada a pesquisa. Esta fase constitui-se de quatro itens: a) localização das jazidas de solos exploradas no município; b) principais vias não pavimentadas; c) caracterização geotécnica preliminar dos solos das jazidas e revestimento primário pelo MP; d) definição do bairro no qual foi aplicada a metodologia.

O Capítulo V refere-se a Fase 2, na qual foi feita a caracterização geotécnica dos solos na área de estudo. Constitui-se de seis itens: a) localização das amostras ensaiadas; b) resultados do ensaio MP; c) definição do solo representativo do Jardim Acarai e Morro do Ubatuba; d) caracterização geotécnica dos solos para ensaios de laboratório; e) ensaio de compactação, DCP e CBR; f) ensaio de DCP em um cilindro de grande dimensão.

O Capítulo VI refere-se a Fase 3, na qual desenvolveu-se a metodologia de dimensionamento do pavimento. Neste, são apresentados os procedimentos empregados na definição de um ábaco para determinação da espessura total do pavimento em função do DN de campo, do tráfego e tipo de solo em análise.

O Capítulo VII refere-se a Fase 4, em que se faz uma aplicação da metodologia proposta. Constitui-se de cinco itens: a) ensaio de campo com o DCP para definir o DN e a umidade do perfil de solo; b) definição do DN e da umidade do solo de fundação; c) resultados de DN e umidade “in situ” por rua; d) definição do DN para dimensionar a espessura do pavimento; e) um exemplo de aplicação da metodologia.

No Capítulo VIII são apresentadas as conclusões e recomendações da pesquisa.

CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

No Brasil, a classificação dos solos iniciou em 1947, seguindo os conceitos americanos. Nestes anos ininterruptos de estudos de solos, várias publicações abordaram conceitos originais, nomenclatura e definições de classes de solo.(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA SOLOS, 2004: consulta internet).

A primeira edição do novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos foi lançado em 1999, pela Embrapa Solos. A partir de então, está liberado o seu uso como Sistema Nacional, podendo ser citado e correlacionado com outros sistemas.(PUNDEK e MOLINARI, 2001).

O sistema permite a classificação de todos os solos do território nacional em seis níveis categóricos diferentes (Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupo, Família e Série), correspondendo, cada nível, a um grau de generalização ou detalhes definidos. A Ordem corresponde ao nível mais genérico da classificação e a Série corresponde ao nível mais detalhado e preciso de classificação, separando unidades bastante homogêneas, precisamente definidas e abrangendo pequenas áreas do terreno. O novo sistema de classificação é estruturado com base em características de gênese do solo e propriedades pedogenéticas, e mostra 14 classes no nível Ordem, 44 classes no nível Subordem, 150 classes no nível de Grande Grupo e 580 classes no nível de Subgrupos. No nível Família e Série, o número de classes é imprevisível, dependendo da intensidade de levantamentos semidetalhados que venham a ser executados nos anos futuros. (EMBRAPA SOLOS, 2004: consulta internet).

No Quadro 2.1 compara-se o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos de 1999 com a Classificação anteriormente usada na Embrapa Solos, que vem a substituir a classificação de solos que vinha sendo utilizada no Brasil, principalmente pela Embrapa Solos e todas as aproximações anteriores, divulgadas para teste e sugestões em 1980, 1981, 1988,1997 (1ª, 2ª. 3ª e 4ª Aproximações).(PUNDEK e MOLINARI, 2001). No Quadro 2.2 são apresentados os símbolos alfabéticos utilizados no 1º , 2º e 3º nível do Sistema – Resumo para as condições de Santa Catarina, preparado por Pundek e Molinari, em agosto de 2001, sendo eliminados aqueles solos, não identificados nem descritos no Estado de Santa Catarina.

Quadro 2.1: Classes de Solos: comparação do novo sistema brasileiro de classificação dos solos com o anterior.(EMBRAPA, 1999).

Sistema Brasileiro de Classificação (1999)	Classificação anteriormente usada na Embrapa Solos (1997)
ALISSOLOS	RUBROZÉM, PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO DISTRÓFICO ou ÁLICO, PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO ou ÁLICO Ta, e alguns PODZÓLICOS VERMELHO-AMARELOS DISTRÓFICOS ou ÁLICOS Tb (com limite mínimo de valor T de 20 cmol _c /kg de argila).
ARGISSOLOS	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb, pequena parte de TERRA ROXA ESTRUTURADA, de TERRA ROXA ESTRUTURADA SIMILAR, de TERRA BRUNA ESTRUTURADA e de TERRA BRUNA ESTRUTURADA SIMILAR, com gradiente textural necessário para B textural, em qualquer caso Eutróficos, Distróficos ou Álicos, e mais recentemente o PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO Tb com B textural e o PODZÓLICO AMARELO.
CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS EUTRÓFICOS, DISTRÓFICOS e ÁLICOS Ta e Tb. Exceto os com horizontes A chernozêmico e B incipiente EUTRÓFICOS Ta.
CHERNOSSOLOS	BRUNIZEM, RENDZINA, BRUNIZEM AVERMELHADO e BRUNIZEM HIDROMÓRFICO.
ESPODOSSOLOS	PODZOL, inclusive PODZOL HIDROMÓRFICO
GLEISSOLOS	GLEI POUCO HÚMICO, GLEI HÚMICO, parte do HIDROMÓRFICO CINZENTO (sem mudança textural abrupta), GLEI TIOMÓRFICO e SOLONCHAK com horizonte glei.
LATOSSOLOS	LATOSSOLOS, excetuadas algumas modalidades anteriormente identificadas, como LATOSSOLOS PLÍNTICOS.
LUVISSOLOS	BRUNO NÃO CÁLCICO, PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO Ta, PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO EUTRÓFICO e os PODZÓLICOS VERMELHO-ESCUROS EUTRÓFICOS Ta.
NEOSSOLOS	LITOSSOLOS, SOLOS LITÓLICOS, REGOSSOLOS, SOLOS ALUVIAIS e AREIAS QUARTZOSAS (Distróficas, Marinhas e Hidromórficas).
NITOSSOLOS	TERRA ROXA ESTRUTURADA, TERRA ROXA ESTRUTURADA SIMILAR, TERRA BRUNA ESTRUTURADA, TERRA BRUNA ESTRUTURADA SIMILAR e alguns PODZÓLICOS VERMELHO-AMARELOS Tb.
ORGANOSSOLOS	SOLOS ORGÂNICOS, SOLOS SEMI-ORGÂNICOS, SOLOS TIOMÓRFICOS TURFOSOS e parte dos SOLOS LITÓLICOS TURFOSOS com horizonte hístico com 30 cm ou mais de espessura.
PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS, SOLONETZ-SOLODIZADO e HIDROMÓRFICOS CINZENTOS que apresentam mudança textural abrupta.
PLINTOSSOLOS	LATERITAS HIDROMÓRFICA, parte de PODZÓLICOS PLÍNTICOS, parte dos GLEI HÚMICO e GLEI POUCO HÚMICO e alguns dos possíveis LATOSSOLOS PLÍNTICOS.
VERTISSOLOS	VERTISSOLOS, inclusive os hidromórficos.

Quadro 2.2: Símbolos alfabéticos utilizados no novo sistema de classificação dos solos (PUNDEK e MOLINARI, 2001).

Ordens	Subordens	Grande Grupos
A – ALISSOLOS P – ARGISSOLOS C – CAMBISSOLOS M – CHERNOSSOLOS E – ESPODOSSOLOS G – GLEISSOLOS L – LATOSSOLOS R – NEOSSOLOS N – NITOSSOLOS O – ORGANOSSOLOS	A – AMARELO AC – ACINZENTADO B – BRUNO C – CRÔMICO ou CROMADO E – EBÂNICO G – HIDROMÓRFICO H – HÚMICO I – HÍSTICO J – TIOMÓRFICO K – CÁRBICO L – LÍTOLICO M – MELÂNICO P – HIPOCRÔMICO Q – QUARTZARÊNICO R – REGOLÍTICO S – FERROCÁRBICO T – ARGILÚVICO U – FLÚVICO V – VERMELHO VA – VERMELHO-AMARELO X – HÁPLICO Y – MÉSICO	a – Alúminio af – Aluminoférrico b – Argila de atividade baixa c – Concrecionário d – Distrófico df – Distoférrico e – Eutrófico ef – Eutroférrico f – Férrico m – Fíbrico g – Hidromórfico h – Húmico u – Hiperespesso y – Hêmico i – Hístico o – Órtico p – Pálico j – Perférrico q – Psamítico r – Saporlítico s – Sáprico t – Argilúvico v – Argila de atividade alta w – Ácrico wf – Acriférrico x – Coeso

Exemplos: CXa – CAMBISSOLOS HÁPLICOS Alúminicos

EKg – ESPODOSSOLOS CÁRBICOS Hidromórficos

2.2 CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS TROPICAIS E MÉTODO DAS PASTILHAS

2.2.1 Desenvolvimento da Metodologia MCT

No Brasil, desde a década de 1940 são utilizados na Classificação Geotécnica do Solo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (USCS Unified Soil Classification System) e a Classificação HRB (Highway Research Board), sendo esse último de finalidade rodoviária. Estes sistemas foram desenvolvidos em região de clima frio e temperado e baseiam-se nas propriedades físicas dos limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade) e na granulometria, os quais são denominados de Propriedades Índices.

Fortes et al. (2002a) relatam que diversos autores, entre eles Nogami e Villibor, têm investigado e discutido as limitações das classificações geotécnicas referidas. Algumas limitações ocorrem principalmente em razão das diferenças existentes entre a natureza das frações de argila e areia, de solos de regiões tropicais e regiões temperadas, para as quais tais classificações foram desenvolvidas. Ainda, segundo os autores, as limitações quanto a estas classificações deve-se à baixa repetibilidade dos resultados dos ensaios, a falta de correlação da classificação e o comportamento geotécnico (propriedades mecânicas e hidráulicas) observado.

Diante das limitações dos procedimentos tradicionais de caracterização e classificação dos solos com base nas propriedades índices, Nogami e Villibor (1995), desenvolveram a Metodologia MCT para solos tropicais. Essa metodologia abrange, hoje, uma série de ensaios, entre eles o de mini-CBR. Esse ensaio difere daquele seguido para obtenção do CBR tradicional, sobretudo pelas dimensões reduzidas dos corpos-de-prova utilizados (50mm de diâmetro e 50mm de altura) e pelo procedimento de compactação, que é feito com o uso de soquete de seção plena.(NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Segundo Godoy (1997, p.36), “enquanto os índices de consistência do solo e granulometria fazem uma previsão das propriedades do solo, a classificação MCT, por outro lado, fornece valores das propriedades para a pavimentação que são principalmente a resistência e a expansão”.

Nogami e Villibor (1980, 1995) adaptaram para os solos tropicais o procedimento de compactação MCV (Moisture Condition Value) de Parsons¹ (1976), criando o ensaio mini-MCV, e com a introdução do ensaio de Perda de Massa por Imersão, possibilitaram a determinação de coeficientes e índices, que permitiram classificar os solos tropicais, designando de Classificação MCT. Segundo os autores, esta poderá com vantagem ser utilizada para finalidades geotécnicas viárias. Os ensaios mini-MCV e Perda de massa por imersão são realizados com corpos-de-prova de diâmetro de 50mm. Também, os autores, em 1985, desenvolveram um procedimento subminiatura, com o uso de corpos-de-prova de 26mm de diâmetros e vários procedimentos para determinação da capacidade de suporte mini-CBR no campo. O ensaio subminiatura foi desenvolvido especialmente para classificação expedita, exequível facilmente, mesmo em laboratório de campo.(Nogami; Villibor² apud NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Nogami e Cozzolino (1985) propõem a primeira tentativa de identificação expedita dos grupos da classificação MCT pelo Método das Pastilhas, feita com base em determinações predominantemente do tipo visual – tátil da fração do solo que passa na peneira 0,42mm e do comportamento das pastilhas moldadas em anéis de aço de 20mm de diâmetro e 5mm de altura, através do qual se chega às classes e tipos granulométricos da classificação MCT.(Nogami; Villibor³, apud NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

Bernucci (1987) propõe classificação de solos tropicais com base na expansão e contração, através de ensaios de pastilhas de solos obtidas com uso de anéis de 45mm de diâmetro e 20mm de altura.(Bernucci⁴, apud GODOY: material cedido pessoalmente em visita à Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC em 2000).

Fortes (1990) apresentou um novo procedimento baseado fundamentalmente nas mesmas determinações adotadas por Nogami e Cozzolino (1985), com algumas alterações e que permite

¹ Parsons, A.W. (1976). *The Rapid Measurement of the Moisture Condition of Earthwork Material*. LR 750. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, U.K.

² Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1980). *Caracterização e Classificação Geral de Solos para Pavimentação: Limitações do Métodos Tradicionais, Apresentação de uma Nova Sistemática*. 15ª Reunião Anual de Pavimentação. Belo Horizonte, M.G.

³ Nogami, J.S.; Cozzolino, V.M.N (1985). *Identificação dos Solos Tropicais: Dificuldades e Propostas de um Método Preliminar*. Anais da XX Reunião Anual de Pavimentação, Vol.1, 115/134. ABPV, Rio de Janeiro.

⁴ Bernucci, L.L.B (1987). *Expansão e contração de solos tropicais compactados e suas aplicações às obras viárias. Classificação de solos tropicais com base na expansão e contração*. 183p. (Dissertação de Mestrado)-Escola Politécnica-Universidade de São Paulo.

classificar os solos identificados segundo os grupos da classificação MCT, limitado a solos de granulação fina.(Fortes⁵, apud NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Fortes e Nogami (1991) apresentaram procedimento de ensaio, correspondente a uma série de determinações simples e rápidas, que pode ser executado em campo, permitindo identificar os solos de comportamento laterítico dos de comportamento não laterítico, conforme os grupos da classificação MCT. Esse procedimento é baseado em índices e determinações qualitativas, empregando-se uma aparelhagem simples e barata.(Fortes⁶, apud FORTES et al. 2002a,b).

Simplificações no Método das Pastilhas foram feitas por Nogami e Villibor em 1994⁷ e 1996⁸ (Apud FORTES et al. 2002a,b) possibilitando identificar facilmente os grupos da classificação MCT através de um gráfico de contração versus penetração. Esse método baseia-se em determinações efetuadas em pastilhas de solo que são moldadas em anéis de aço inox de 20mm de diâmetro, e após secagem, verifica-se a contração diametral. Em seguida, são submetidas a reabsorção de água, quando se observa o surgimento de trincas, expansão e resistência a penetração de uma agulha padrão.

Em 1997, durante a 1º Câmara Permanente de Desenvolvimento Tecnológico ocorrida na universidade Mackenzie, Fortes⁹ (Apud FORTES; MERIGHI; NETO 2002b) apresentou uma proposta de Normalização para o Método das Pastilhas voltado, principalmente, para a escolha de material.

Desde então, esse procedimento de investigação geotécnica expedita, tem sido utilizado, com sucesso, em locais onde ocorrem solos Tropicais, como por exemplo, no estado de São Paulo, pelo Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP), no projeto de duplicação de 120km da Rodovia Raposo Tavares-SP 270, trecho Assis-Prudente, EMURB - Empresa

⁵ Fortes, R.M.(1990). *Método Expedito de Identificação de Solos Tropicais, para Finalidades Rodoviárias, utilizando-se Anéis de PVC Rígido*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, PTR, São Paulo.

⁶ Fortes, R.M.; Nogami, J.S. (1991). *Método Expedito de Identificação do grupo MCT de Solos Tropicais, utilizando-se Anéis de PVC Rígido*. Anais da 25ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, vol.1, p.591-604.

⁷ Nogami, J.S e Villibor, D.F. (1994). *Identificação Expedita dos Grupos de Classificação MCT para Solos Tropicais*. Anais do 10º COBRAMSEF - Foz do Iguaçu. Vol. 4. 1293-1300, ABMS, São Paulo.

⁸ Nogami, J.S e Villibor, D.F. (1996). *Importância e determinação do Grau de Laterização em Geologia de Engenharia*. Anais do VIII Congresso da ABGE – Rio de Janeiro, vol. 1, 345/358, ABMS, São Paulo.

⁹ Fortes, R.M. (1997). *Método das Pastilhas para Identificação Expedita do Grupo MCT-Miniatura, Compactada, Tropical*. 1ª Câmara Permanente de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Mackenzie, São Paulo, Brasil.

Municipal de Urbanização e em Brasília pela NOVACAP (Companhia Urbanizadora da Nova Capital).(FORTES; MERIGHI; NETO 2002b).

Também, no ano de 1997, Godoy apresentou uma sequência metodológica de identificação expedita e classificação geotécnica MCT de Latossolos e solos afins do Estado de São Paulo utilizando o Método das Pastilhas.

Mudanças substanciais no Método das Pastilhas foram feitos por Godoy e Bernucci em 2000, principalmente quanto a desvinculação do MP com relação a Metodologia MCT. No método expedito proposto, utilizam-se anéis de 35mm de diâmetro por 10mm de altura. As propriedades avaliadas pelo Método das Pastilhas, importantes para obras geotécnicas, são a *deformabilidade*, *resistência* e *permeabilidade*. A propriedade de *deformabilidade* é caracterizada através da contração diametral por perda de umidade e pela expansão diametral por reabsorção d'água. A *resistência* é caracterizada através da penetração de um *cone* no solo após a reabsorção d'água, e por último, a *permeabilidade* é caracterizada através do tempo de ascensão capilar d'água e a capacidade de reabsorção d'água após secagem.(GODOY e BERNUCCI, 2000).

Fortes, Neto e Merighi (2002a) apresentam novamente uma “Proposta de Normalização do Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais” segundo os Grupos MCT. De acordo com os autores, o Método das Pastilhas tem sido utilizado com sucesso. Como por exemplo, no serviço do “Programa de Pavimentação Econômica” desenvolvido pela NOVACAP em Brasília, na fase de estudo de viabilidade e de projeto executado, como uma maneira de reduzir o custo do estudo de opções, quer de jazidas, quer de alternativas para a pavimentação econômica das cidades satélites de Brasília.

Nogami e Villibor (2003) apresentam modificações na Tabela e no gráfico da classificação MCT para solos tropicais, respectivamente para uso na fase preliminar expedita do Método das Pastilhas e para a fase definitiva baseada em resultados obtidos a partir de corpos-de-prova compactados (grupos MCT). Também, apresentam modificações quanto a séries de golpes para compactação dos corpos-de-prova miniatura da metodologia MCT e os dispositivos (equipamentos) do procedimento de ensaio no Método das Pastilhas.

2.2.2 Classificação Geotécnica dos Solos Segundo a Metodologia MCT

2.2.2.1 Ensaios Necessários

A classificação dos solos segundo a Metodologia MCT pode ser feita utilizando-se o Procedimento Básico ‘Original’, através dos ensaios de mini-MCV e Perda de Massa por Imersão que utiliza corpos-de-prova compactados e/ou pelo procedimento expedito do Método das Pastilhas que utiliza pastas de solos moldados em anéis de 20mm de diâmetro.

Como foi mencionado anteriormente, Nogami e Villibor desenvolveram a Metodologia MCT diante das dificuldades do uso das classificações tradicionais ao serem empregadas em solos de climas tropicais. A Metodologia MCT compõem-se de uma série de ensaios, utilizando-se corpos-de-prova compactados de dimensões reduzidas (50mm de diâmetro) e abrange dois grupos de ensaios: mini-CBR, mini-MCV e seus ensaios associados (Capacidade de Suporte mini-CBR, Expansão, Contração, Infiltrabilidade, Permeabilidade, Penetração de imprimadura).(FORTES, MERIGHI e NETO, 2002b).

Na Figura 2.1, apresentada em 2000 por Villibor et al.¹⁰, ilustra-se os Grupos de ensaios da Metodologia MCT (Apud FORTES et al. 2002b; FORTES, disponível em: http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/2classificação_de_solos.pdf. Acesso em mar. 2004) .

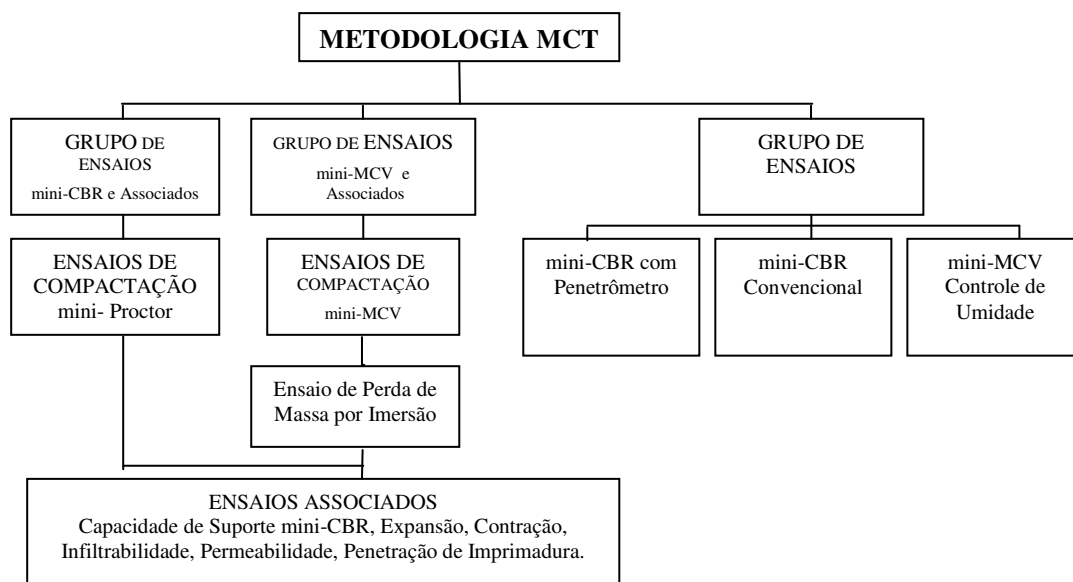


Figura 2.1: Grupo de ensaios da Metodologia MCT (Villibor et al., 2000).

¹⁰ Villibor, D.F.; Nogami, J.S.; Beligni, M. e Cincerre, J.R. (2000) *Pavimentos com Solos Lateríticos e Gestão de Manutenção de Vias Urbanas*. ABPV - Associação Brasileira de Pavimentação e Univ. Federal de Uberlândia – Fac. de Eng. Civil, São Paulo, Brasil.

Através dos ensaios mini-CBR e associados, pode-se obter as características dos solos apropriados para bases de pavimentos, determinando-se em corpos-de-prova compactados com energia constante e para vários teores de umidade uma série de propriedades como: capacidade de suporte (mini-CBR), expansão, contração, infiltrabilidade, permeabilidade, etc.(FORTES, 2004).

Os ensaios mini-MCV e associados fornecem parâmetros para a determinação do coeficiente c' e do índice e' , permitindo a classificação dos solos pela metodologia MCT, além de permitirem a determinação de todas as propriedades referidas nos ensaios mini-CBR e associados. A Figura 2.2 ilustra os principais ensaios da metodologia MCT.(FORTES, 2004).

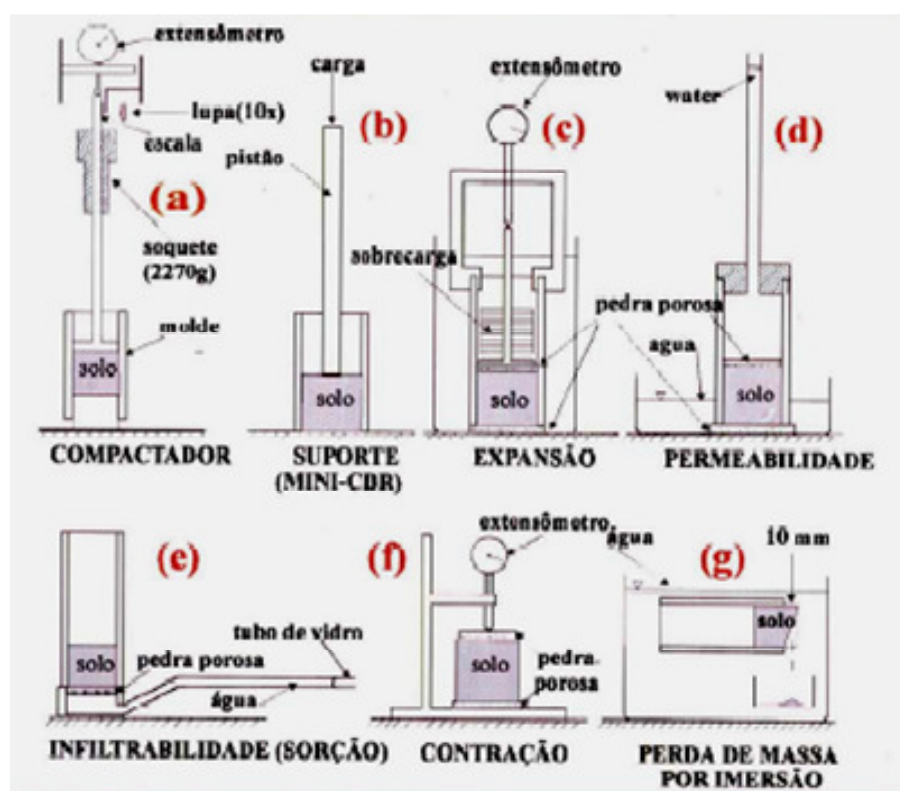


Figura 2.2: Principais ensaios da metodologia MCT (FORTES, 2004).

Em síntese, as principais aplicações da metodologia MCT são as separações dos solos de comportamento laterítico, dos solos de comportamento não laterítico e a hierarquização de valores de algumas propriedades geotécnicas dos solos.(GODOY et al., 1998).

Godoy (1997) evidencia que a utilidade da Metodologia MCT tem sido comprovada pelo seu uso na construção de estradas no Estado de São Paulo, possibilitando o uso dos solos lateríticos em mais de 6.000km de rodovias construídas com bases de solos lateríticos e mais de 10.000.000m² de vias urbanas. Para o autor (1997, p. 40), “diante das dificuldades de análises granulométricas e mineralógicas, a metodologia MCT é a que mais se aplica na caracterização e classificação dos solos tropicais”.

Na Figura 2.3 observam-se as ocorrências de solos tropicais no Brasil, onde se diferenciam os solos lateríticos arenosos dos solos lateríticos argilosos, apresentado por Villibor et al. (2000), (Apud FORTES, disponível em: <meusite.Mackenzie.com.br/rmfortes/estrada2/2classificação_de_solos.pdf>. Consulta: mar. 2004).



Figura 2.3: Ocorrências de solos lateríticos no Brasil (Villibor et al., 2000).

2.2.2.2 Classificação Geotécnica dos Solos Tropicais

Esse procedimento emprega o ensaio mini-MCV e o ensaio de Perda de Massa por Imersão que possibilitam a determinação de coeficientes e índice para classificar os solos tropicais.

Esta classificação separa os solos tropicais em duas grandes classes, os de comportamento Lateríticos (L) e os de comportamento Não Lateríticos (N). Os solos de comportamento lateríticos são subdivididos em 3 grupos: LA - areia laterítica quartzosa, LA' – solo arenoso laterítico e LG' – solo argiloso laterítico. Os solos de comportamento não laterítico (saprolíticos) são subdivididos em 4 grupos: NA – areias, siltes e misturas de areias e siltes com predominância de grão de quartzo e/ou mica, não laterítico, NA' – misturas de areias quartzosas com finos de comportamento não lateríticos (solo arenoso), NS' – solo siltoso não laterítico e NG' – solo argiloso não laterítico.(FORTES et al., 2002 a,b).

Para classificar os solos tropicais, utiliza-se carta de classificação de solos da metodologia MCT ilustrada na Figura 2.4, onde a linha tracejada ($e' = 1,15$) separa os solos L e N.

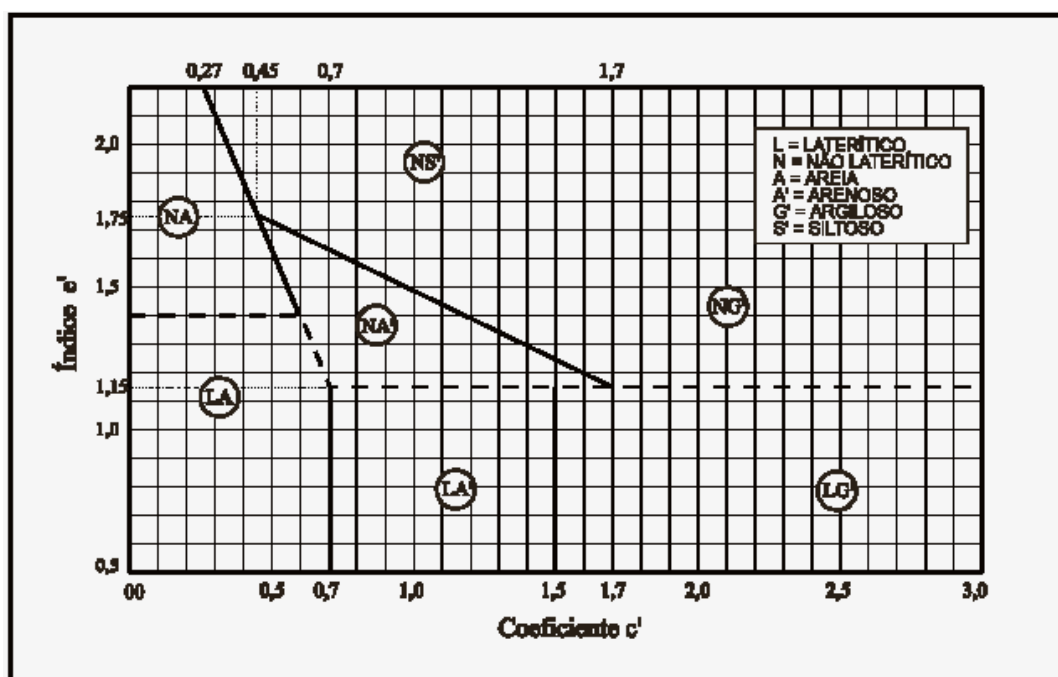


Figura 2.4: Carta de classificação de solos da Metodologia MCT. (FORTES, MERIGHI, NETO 2002b).

Esse gráfico foi elaborado a partir do conhecimento dos coeficientes c' e e' .

O *coeficiente c'* denominado de coeficiente de deformabilidade é obtido através do ensaio mini-MCV. Esse coeficiente correlaciona-se com a granulometria. Assim, um c' elevado (acima de 1,5) caracteriza as argilas e solos argilosos, enquanto que valores baixos (abaixo de 1,0) caracterizam as areias e os siltes não plásticos e pouco coesivos. Entre 1 e 1,5, se situam os solos de vários tipos granulométricos, compreendendo areias siltosas, areias argilosas, argilas

arenosas, argilas siltosas, etc. Desconhece-se eventual correlacionamento do c' com a laterização.(NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Em 1989, Nogami, Cozzolino e Villibor verificaram que existe uma razoável correlação entre c' e o limite de liquidez. Essa correlação melhora se os solos lateríticos forem separados dos solos não lateríticos.(Nogami; Cozzolino; Villibor¹¹ apud NOGAMI; VILLIBOR 1995).

O índice e' é calculado a partir do coeficiente d' (inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação, correspondente a 12 golpes do ensaio de mini-MCV) e da perda de massa por imersão P_i (percentagem de massa desagregada em relação a massa total do ensaio quando submetida à imersão em água), dado pela fórmula:

$$e' = \sqrt[3]{\left(\frac{20}{d'}\right) + \left(\frac{P_i}{100}\right)} \quad \text{equação 2.1}$$

Onde:

e' : coeficiente de deformabilidade;

d' : coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação, em condição padronizada; e,

P_i : perda de massa por imersão (%).

O índice e' foi concebido para indicar o comportamento laterítico ou não laterítico. Verificou-se que o comportamento laterítico começa a se manifestar quando $d' > 20$ e $P_i < 100$, o que permitiu o estabelecimento da linha horizontal principal, correspondente a $e' = 1,15$ (linha tracejada da Figura 2.4), que separa os solos L dos solos N. Para os solos pobres em finos, a transição ocorre para valores mais alto de P_i , o que levou a estabelecer a linha horizontal secundária em posição pouco acima, isto é, correspondente a $e' = 1,4$. Verificou-se para certos solos, que a linha horizontal principal apresenta, na realidade, uma pequena inclinação que não foi possível se calcular com suficiente precisão. O uso da raiz cúbica na fórmula de cálculo de e' objetivou distribuir os solos L e N em áreas aproximadamente equivalentes.(NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

A classificação geotécnica dos grupos MCT é obtida diretamente, plotando as variáveis c' e e' , exceto quando, o ponto representativo da amostra cai sobre ou nas proximidades dos limites das classes L e N e, também, quando o ponto representativo da amostra cai longe dos limites das

¹¹ Nogami, J.S.; Cozzolino, V.M.N.; Villibor, D.F. (1989). Meaning of Coefficients and Index of MCT Soil Classification for Tropical Soils. Proc. 12^a Intern. Conf. Soil Mech. And Found. Engin., vol.1, 547/550. Blakema. Rotterdam.

classes N e L. Os critérios para a classificação nessas duas situações são definidos em função de valores e formas das curvas dos ensaios mini-MCV e Perda de Massa por Imersão em Nogami e Villibor (1995).

a) Propriedades “in situ” das Classes Lateríticas, Não Lateríticas, Grupos de Solos da Classificação MCT, Expansão e Contração.

Essas propriedades são abordadas em Nogami e Villibor (1995) de uma forma muito clara, descritas sucintamente, a seguir:

➤ *Classe L – Comportamento LATERÍCO*

Os solos de comportamento laterítico são constituídos, do ponto de vista pedológico, pelo horizonte B dos grandes grupos pedológicos. O horizonte B desses solos caracterizam-se sobretudo pela predominância do matiz (segundo Mansul Soil Color Charts¹²) vermelho e/ou amarelo, de grande espessura total, agregação dos grãos mais finos muito intensa, dando um aspecto trincado e/ou poroso e pequena variação de propriedades ao longo de toda sua espessura. A parte mais arenosa e rica em matéria orgânica, que recobre o horizonte B, constitui o horizonte A, geralmente removida nas operações de limpeza.

Os solos de comportamento laterítico só excepcionalmente integram outros tipos de perfis de características morfológicas distintas das acima citadas, tais como regossolos e solos hidromórficos, quando então apresentam cores peculiares aos solos pedogenéticos não lateríticos, como cinzento, branco, etc. O comportamento lateríticos destes solos pode ser comprovado pelos ensaios da metodologia MCT ou outros ensaios apropriados.

Muitas das propriedades de cor e agregação dos solos pedogeneticamente lateríticos, em suas condições naturais, decorrem da constituição mineralógica peculiar de sua fração argila, na qual se destacam a presença da caolinita, como argilomineral predominante, e elevada percentagem de óxidos e hidróxidos de ferro e hidróxidos de alumínio. Na fração areia, ocorre sobretudo o quartzo, os minerais pesados, concreções lateríticas e eventualmente agregados não desagregados pelos processos de dispersão adotados.

A granulometria dos solos de comportamento laterítico varia entre limites muito amplos: desde areias com poucos finos argilosos até argilas, sendo que a percentagem de silte pode variar de

¹² Munsell Collor Company, Inc. *Munsell Soil Color Charts*. Baltimore 18, Maryland. USA. 1954.

zero a mais de 50%, sem contudo, imprimir peculiaridades siltosas, a não ser em condições especiais (seção 2.6.3 em NOGAMI E VILLIBOR, 1995).

Apesar da variação granulométrica, o fato de o solo ter comportamento laterítico implica numa série de peculiaridades de propriedades e de comportamento, das quais se destacam a elevada porosidade aparente natural, a baixa resistência e a baixa capacidade de suporte; porém, quando apropriadamente compactado, adquire elevadas resistência e capacidade de suporte, além de baixa permeabilidade. As variedades areno-argilosas, quando apropriadamente compactadas, apresentam maior capacidade de suporte que as argilas e variedades mais argilosas.

Os solos dessa classe podem ser muito plásticos ou pouco plásticos. Uma das peculiaridades dos solos de comportamento laterítico, quando devidamente compactados, é a pequena perda de capacidade de suporte por imersão em água; dignos de registro são também os elevados módulos de resiliência que apresentam.

➤ *Classe N – Comportamento NÃO LATERÍCO*

A heterogeneidade dessa classe de solos é muito grande, contrastando com os solos de comportamento laterítico. Considerando os solos tropicais, os solos saprolíticos, e secundariamente, os solos superficiais (ou pedogenéticos) de comportamento não laterítico, as diferenças de características entre esses dois tipos genéticos são muito grandes.

Os solos saprolíticos, como resultam da desagregação e/ou decomposição “in situ” de uma rocha consolidada, apresentam características muito dependentes tanto da rocha como do estado de desagregação e/ou decomposição. As suas condições de ocorrência e as suas propriedades e comportamento são extremamente variadas. Existem ocorrências de grande volume e espessuras, homogêneas ou heterogêneas (tipo predominante), desde argilas e siltes até areias e pedregulhos com matações, de composição mineralógica simples a muito complexa, com a presença de minerais parcialmente intemperizados de propriedades pouco conhecidas, de macrofábrica (fábrica – disposição espacial dos constituintes sólidos, dos seus vazios e das suas superfícies de descontinuidade - dos solos, observável a olho nú) aparentemente homogênea e isotrópica até altamente anisotrópica, muito plásticos e expansivos, de baixa capacidade de suporte e altamente erodíveis, até materiais granulares, de elevadas capacidade de suporte e não sujeitos a erosão, etc. Os estudos geotécnicos dos solos saprolíticos apresentam muitas dificuldades, desde a obtenção de perfis e amostragem até interpretação dos dados de ensaios.

O solo saprolítico é um solo genuinamente residual, razão pela qual é freqüentemente designado residual ou, mais especialmente, solo residual jovem.

As camadas que os solos saprolíticos constituem, em suas condições naturais, são designadas de horizonte saprolítico.

Os solos superficiais não lateríticos são relativamente pouco freqüentes e raramente constituem ocorrências ou camadas de mais de um metro. Esses solos podem, eventualmente, integrar perfis dos solos pedologicamente considerados lateríticos ou apresentar condições hidrológicas e/ou rocha matriz especial, como no caso de ocorrências dos vertissolos (ex: horizonte A e B do massapê da Bahia e solos similares).

Os solos superficiais não lateríticos, a não ser que sejam excessivamente ricos em matéria orgânica, de uma maneira geral, têm propriedades e comportamento similares aos solos não tropicais, considerados na Mecânica dos Solos tradicional (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

➤ *Grupos de Solos da Classificação MCT*

- *Grupo NA*: os solos desse grupo são areias, siltes e misturas de areias e siltes, nos quais os grãos são constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica (sericita). Praticamente não possuem finos argilosos coesivos e siltes caoliníticos. Os tipos genéticos representativos são saprolíticos, associados a rochas sedimentares ou metamórficas.

As areias e siltes quartzosos são não expansivos e muito pouco expansivos, ao passo que as variedades micáceas podem ser altamente expansivas. Quando compactados, possuem capacidade de suporte de pequena a média e, geralmente, são muito erodíveis. Os solos desse grupo, quando não micáceos, são solos de comportamento considerado na Mecânica dos Solos tradicional.

- *Grupo NA'*: granulometricamente, os solos desse grupo são misturas de areias quartzosas com finos passando na peneira 0,075mm, de comportamento não laterítico. Geneticamente, os tipos mais representativos são solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo, tais como: granitos, gnaisses, arenitos e quartzitos impuros.

Quando a areia for bem graduada e a natureza e percentagem de finos obedecerem às condições estipuladas tradicionalmente, podem os solos do grupo apresentar propriedades adequadas para serem usadas como bases de pavimentos. Contudo, se a areia for mal

graduada e os finos não obedecerem às condições acima, ou se contiverem, na fração areia ou silte, mica e/ou microcristais de caolinita e/ou haloisita, eles podem ser totalmente inapropriado para bases de pavimentos. Recomenda-se, pois, que se determine a sua capacidade de suporte e suas características expansivas, mesmo de maneira expedita, na ocasião de sua classificação. Muitas de suas variedades podem ser excessivamente expansivas, muito resilientes ou muito sujeitas à erosão hidráulica.

- *Grupo NS'*: corresponde aos solos saprolíticos silto-arenosos, resultantes do intemperismo tropical nas rochas eruptivas e metamórficas, de constituição feldspática-micácea-quartzosa. Esses solos caracterizam-se por ter, quando compactados na umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, baixa capacidade de suporte quando imersos em água; baixo módulo de resiliência; elevada erodibilidade; elevada expansibilidade; elevado coeficiente de sorção¹³ e permeabilidade média. Em condições naturais, apresentam baixa massa específica aparente seca, podem ser colapsíveis e ter baixa capacidade de suporte. Predominam variedades com erodibilidade de média a elevada nos taludes de cortes.
- *Grupo NG'*: compreendem os saprolíticos argilosos, que derivam de rochas sedimentares argilosas (folhelhos, argilitos, siltitos) ou cristalinas, pobres em quartzo e ricas em anfibólios, piroxênios e feldspatos calcíticos. Classificam-se nesse grupo os vertissolos. Quando compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, apresentam características das argilas tradicionais muito plásticas e expansivas. Quanto à resiliência, apresentam, quando compactados, características bilineares em função da tensão desvio, sendo pouco dependente da pressão de confinamento. O emprego dos solos desse grupo se prende às restrições conseqüentes às suas elevadas expansibilidade, plasticidade, compressibilidade e contração, quando submetido a secagem.
- *Grupo LA*: estão incluídas nesse grupo areias com poucos finos de comportamento laterítico, típicas do horizonte B dos solos conhecidos como areias quartzosas e regossolos.

¹³ Coeficiente de sorção: caracteriza a quantidade de água que infiltra, dados em $\text{cm}/(\text{minuto})^{1/2}$; infiltrabilidade: propriedade dos solos não saturados, caracterizada pela quantidade de água que penetra (ou infiltra) através de sua superfície, quando em contato com água livre. A infiltrabilidade depende do tempo. A água que penetra – motivada pela tensão de sucção do solo. (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

A percentagem de finos lateríticos dos solos desse grupo é muito baixa, de maneira que mesmo quando devidamente compactados, podem ser relativamente permeáveis, pouco coesivos e pouco contráteis quando seco, características essas pouco desejáveis para base de pavimentos econômicos, apesar de possuírem elevada capacidade de suporte e módulos de resiliência relativamente elevados.

- *Grupo LA'*: os solos desse grupo são tipicamente arenosos, constituintes do horizonte B dos solos latossolos arenosos e solos podzólicos ou podzolizados arenosos (textura média). Esses solos, além da presença de matizes vermelho e amarelo, dão cortes firmes (pouco ou não erodíveis), nitidamente trincados quando expostos às intempéries.

Quando devidamente compactados, adquirem elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa permeabilidade, pequena contração por perda de umidade, razoável coesão e pequena expansibilidade por imersão em água, propriedades essas que podem possibilitar o seu uso em bases e sub-bases de pavimentos.

Em suas condições naturais, esses solos possuem baixa massa específica aparente seca, baixa capacidade de suporte e podem ser colapsíveis por imersão em água.

- *Grupo LG'*: os integrantes, mais freqüentes desse grupo tem sido as argilas e as argilas arenosas, que constituem o horizonte B dos solos latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas.

Quando possuem percentagem relativamente elevada de grãos de areia, podem apresentar propriedades similares às dos solos do grupo LA', possuindo, entretanto, menor capacidade de suporte, menores módulos de resiliência, maior plasticidade, menor massa específica aparente seca e maior umidade ótima para mesma energia de compactação e maior contração por perda de umidade. São mais resistentes à erosão hidráulica, quando compactados apropriadamente.

A colapsibilidade em estado natural, por imersão em água, é uma propriedade freqüentemente observada nesse grupo, sobretudo quando apresentam agregados bem desenvolvidos. Nessa condição, apresentam-se altamente permeáveis, apesar de serem granulometricamente argila e, devido a isso, costumam dar taludes de cortes não sujeitos à erosão pluvial.

A partir da classificação geotécnica dos grupos da MCT, pode-se usar o Quadro 2.3 que contém dados qualitativos sobre as propriedades mecânicas e hidráulicas, consideradas mais

significativas dos grupos MCT. Essas propriedades foram obtidas por interpolação, a fim de corresponder a corpos-de-prova compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima, obtidas com 10 golpes do soquete tipo leve da compactação mini-Proctor. Essa condição de compactação resulta em corpos-de-prova com propriedades que se assemelham àquela obtidas com o Proctor Normal. A correspondência numérica das propriedades caracterizadas qualitativamente no Quadros 2.3 estão indicadas no Quadro 2.4.(NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Quadro 2.3: Propriedades e utilização dos grupos de solos da Metodologia MCT. (Nogami e Villibor, 1998).

GRANULOMETRIAS TÍPICAS Designações do T1-71 do DER-SP (equivalentes da Mississipi River Commision, USA)			argilas siltes (q,s)	areias siltosas	siltes (k,m) siltes arenosos	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos	areias siltosas	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas siltosas siltes argilosos
K = caolínítico m = micáceo S = sericítico q = quartzoso									
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico				L = Laterítico		
GRUPO MCT			NA	NA’	NS’	NG’	LA	LA’	LG’
Propriedades	MINI-CBR (%)	sem imersão	M, E	E	M, E	E	E	E, EE	E
		com imersão	M, E	M, E	B, M	B	E	E	E
	EXPANSÃO		B	B	B, M	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO		B	B, M	E	M, E	B	B, M	M, E
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)		M, E	B	M	B, M	B,M	B	B
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)		E	B, M	B, M	M, E	B	B	B
	Corpos-de-prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal		EE = Muito Elevado (a) E = Elevado (a)		M = Médio (a) B = Baixo (a)		Vide Quadro 2.4 para equivalente numérico		
Utilização	Base de pavimento		n	4º	n	n	2º	1º	3º
	Reforço do subleito compactado		4º	5º	n	n	2º	1º	3º
	Subleito compactado		4º	5º	7º	6º	2º	1º	3º
	Aterro (corpo) compactado		4º	5º	6º	7º	2º	1º	3º
	Proteção à erosão		n	3º	n	n	n	2º	1º
	Revestimento primário		5º	3º	n	n	4º	1º	2º
			n = não recomendado						
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas		USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
		AASHO	A - 2	A - 2 A - 4 A - 7	A - 4 A - 5 A-7-5	A - 6 A - 7 - 5 A - 7 - 5	A - 2	A - 2 A - 4	A - 6 A - 7 - 5

Quadro 2.4: Valores numéricos das propriedades dos grupos que complementam o Quadro 2.3. (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

SUPORTE Mini-CBR (%) (c/ sobrecarga padrão)	Muito Elevado Elevado Médio Baixo	> 30 12 a 30 4 a 12 < 4	PERDA DE SUPORTE Mini-CBR por Imersão (%)	Elevada Média Baixa	> 70 40 a 70 < 40
EXPANSÃO (%)	Elevada Média Baixa	> 3 0,5 a 3 < 0,5	CONTRAÇÃO (%)	Elevada Média Baixa	> 3 0,5 a 3 < 0,5
COEFICIENTE DE SORÇÃO – s log (cm/min ^{1/2})	Elevado Médio Baixo	> (-1) (-1) a (-2) < (-2)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE – k log (cm/s)	Elevado Médio Baixo	> (-3) (-3) a (-6) < (-6)

➤ *Expansão e Contração*

Nogami e Villibor (1995) citam que “os solos tropicais lateríticos e saprolíticos possuem uma série de peculiaridades no que se refere às suas propriedades de expansão e contração. Na mecânica dos solos tradicional, objetivando sobretudo a utilização dos resultados em obras viárias, tem-se dado grande importância às propriedades expansivas dos solos. Contudo, (...), quando se utilizam os solos tropicais nas condições ambientais típicas, a contração também assume importância muito grande”.

- *Determinação da Expansão:*

Tem-se usado com finalidades viárias e para pavimentação, a determinação da expansão pelo ensaio de CBR (ou ISC Índice Suporte Califórnia) obedecendo à metodologia adotada pelo DNER. Também, quando o solo for de granulação fina pode-se adotar, com vantagem, o ensaio mini-CBR, sendo neste caso, a maior alteração metodológica refere-se ao tempo de imersão dos corpos-de-prova, que fica reduzido para 20 horas.

Recomenda-se que se façam leituras no dispositivo para medida da expansão nas primeiras oito horas de imersão, porquanto a velocidade de expansão tem significado importante para os solos tropicais. Além disso, recomenda-se para certos tipos de solos, a determinação da expansão sob várias condições de sobrecarga.

Os solos lateríticos, de uma maneira geral, mesmo que sejam argilas ou muito argilosos, possuem pequena expansão, quando compactados na umidade ótima correspondente à massa específica aparente seca máxima da energia adotada e, em seguida, imersos em água. Além disso, esses solos apresentam expansão pouco dependente da sobrecarga. Observe-se que os mesmos solos, compactados no ramo úmido da curva de compactação, podem apresentar expansões relativamente elevadas (acima de 1%).

Os solos saprolíticos, por incluírem uma grande variedade de tipos, não permitem uma generalização, havendo a necessidade de se considerar os tipos: Siltosos caoliníticos-micáceos \Rightarrow expansão rápida e relativamente grande, porém com baixa pressão de expansão. A colocação de um reforço do subleito de solo escolhido, com algumas dezenas de centímetros, pode compensar o efeito da expansão e elevar consideravelmente a sua capacidade de suporte. Nesses tipos de solos, a elevada percentagem de areia e/ou silte de quartzo diminui a expansão, entretando, se a areia e/ou silte forem micáceos, isso não acontece; Argilas e solos argilosos \Rightarrow apresentam propriedades expansivas similares àquelas verificadas nos solos tradicionais semelhantes do ponto de vista granulométrico e sobreadensados. O sobreadensamento pode ter desaparecido quando o grau de intemperização for muito intenso. Como se sabe, as argilas tradicionais expandem lentamente e podem possuir elevada pressão de expansão.

- *Determinação da Contração:*

Vários procedimentos podem ser usados para determinação da contração, não existindo um que possa ser considerado como mais usado, justificando assim, que a contração não é considerada uma propriedade muito importante na geotécnica universal. Nas regiões tropicais, contudo, a contração é uma propriedade muito importante, sobretudo quando se utilizam argilas e solos argilosos para pavimentação, razão pela qual foi considerada na metodologia MCT de estudos geotécnicos por Nogami e Villibor em 1979¹⁴. A metodologia MCT tem o ensaio Contração com procedimentos específicos para sua determinação.

¹⁴ Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1979). *Soil Characterization or Mappings Units for Highway Purposes in a Tropical Area*. IAEG Bull. N°.19, 196/199. Krefeld. Germany.

Os solos lateríticos compactados não apresentam peculiaridades nítidas no que se refere à contração. Conseqüentemente, quanto mais argilosos, mais contráteis são, apresentando, contudo, expansibilidade baixa.

Os solos saprolíticos compactados, constituídos de elevada percentagem de argila, apresentam geralmente características de contração similares aos correspondentes granulométricos dos solos tradicionais não tropicais. Os siltes e solos siltosos micáceos e/ou caoliníticos, ou ainda ricos em areias micáceas, de origem saprolítica, podem apresentar baixa contração, mesmo que sejam expansivos, quando compactados e imersos na água. Em casos extremos de solos saprolíticos constituídos de elevada percentagem de siltes micáceos ou caoliníticos, poderá haver expansão por perda de umidade.

Nogami e Villibor (2003) apresentam novas modificações quanto a séries de golpes de soquete a submeter os corpos-de-prova compactados e a Carta de classificação dos solos dos Grupos MCT. Segundo os autores (p.50), a nova forma de apresentação “...caracteriza-se por apresentar o zero da escala vertical na parte superior e não na sua parte inferior como na versão original apresentada em Nogami e Villibor, 1981¹⁵”. Didaticamente melhor, a nova disposição é de uso generalizado na apresentação de perfis geotécnicos, em que o zero coincide com a superfície do terreno. Essa nova disposição, coincide com aquela que se observa na maioria dos perfis naturais das ocorrências, em que as camadas de solos de comportamento laterítico ocorrem na parte mais superficial e superior, sendo que geralmente o grau de laterização diminui sensivelmente nas proximidades do contato com a camada subjacente de solos de comportamento não laterítico (transportados e/ou saprolíticos).

A escala horizontal (coeficiente c') foi modificada em dois aspectos: a) valor inicial, que se inicia com $c'=0,3$, tendo sido suprimida o trecho de zero a esse valor; b) adoção de escala logarítmica abandonando-se a escala linear. A Figura 2.5 mostra o novo gráfico de classificação geotécnica MCT.

¹⁵ Id., (1981). *Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias*. Anais Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, vol. 1, 30/41. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

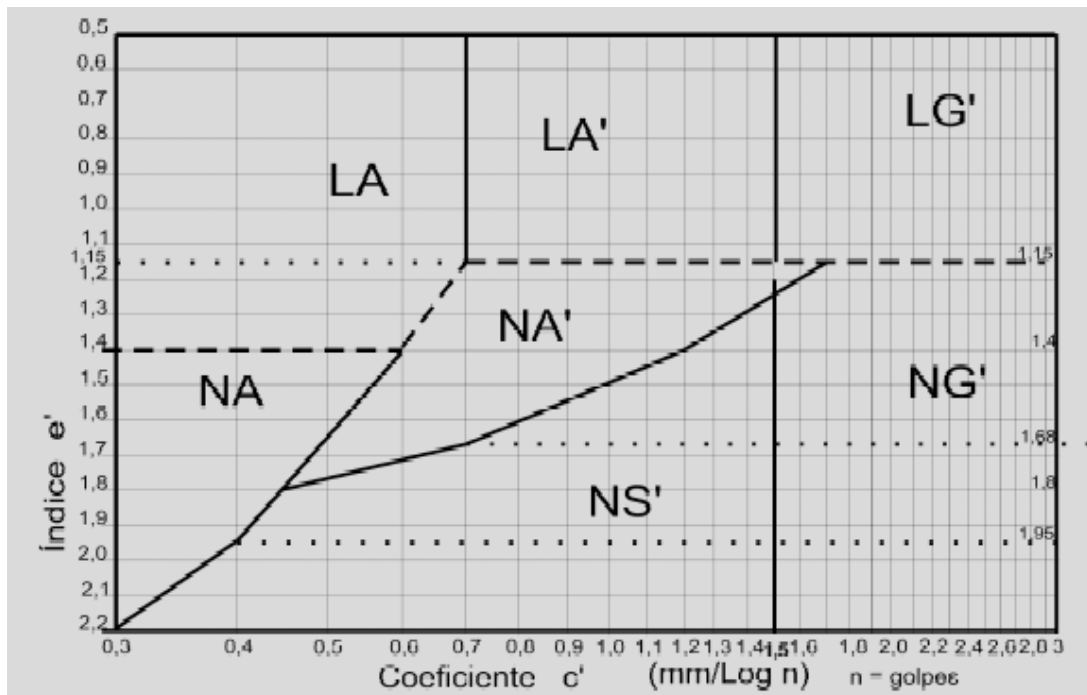


Figura 2.5: Gráfico de classificação geotécnica MCT – aproximação 2003.

(NOGAMI e VILLIBOR, 2003, p.50).

2.2.3 Classificação Geotécnica dos Solos Tropicais pelo Método das Pastilhas Segundo a Metodologia MCT

2.2.3.1 Desenvolvimento da Metodologia

A classificação geotécnica dos solos pelo Método das Pastilhas segundo a Metodologia MCT, caracteriza-se pela moldagem de pastilhas de solos (material passante na peneira 0,42mm) em anéis de aço inox de 20mm de diâmetro por 5mm de altura, que após a secagem, são submetidos a reabsorção d'água, quando se observa o surgimento de trincas, expansão e a resistência à penetração de uma agulha padrão de 10 gramas.

Godoy (1997) fez algumas modificações para o método expedito das pastilhas, como determinação das seguintes propriedades: granulometria, umidade, consistência, tempo de ascensão, trincas, expansão, resistência ao esmagamento e esfera de solo imersa em água. Godoy et al. (1998, p. 96) menciona que “o ensaio expedito das pastilhas permite observar 10 características dos solos analisados: contração diametral, expansão, penetração e demais propriedades: granulometria, umidade, consistência, tempo de ascensão, trincas, resistência ao esmagamento e coesão em água.”

Na classificação preliminar MCT, das 10 características observadas por Godoy, apenas duas são necessárias para Nogami e Villibor (1996) (Apud GODOY, 1998): a contração diametral e a penetração.

A Figura 2.6 mostra a Carta de Classificação Geotécnica MCT pelo Método das Pastilhas, tem-se na abscissa os valores da Contração diametral (Ct) da pastilha seca e na ordenada os valores da Penetração (Pn) obtida com o penetrômetro padrão após reabsorção de água pela pastilha.

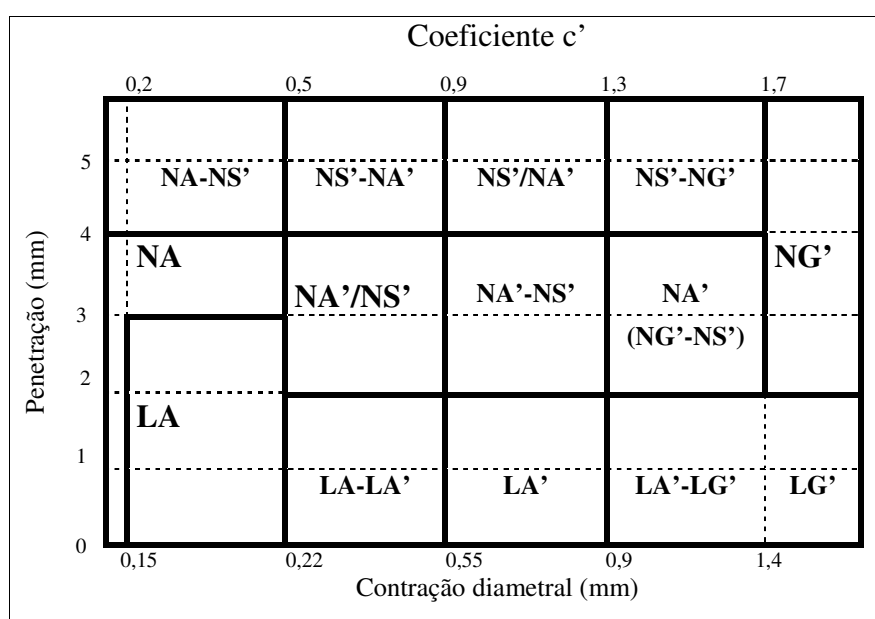


Figura 2.6: Carta de classificação geotécnica MCT pelo Método das Pastilhas.
(Nogami e Villibor, 1994) (Apud FORTES et al., 2002b, p.8)

Para Godoy et al. (1998, p.96), “as características de contração diametral e de penetração, de certa forma compreendem propriedades que refletem o comportamento de um solo na pavimentação. Enquanto a contração se relaciona com as trincas e a compressibilidade dos solos compactados, a penetração por agulha padronizada está relacionada com a resistência desses solos em presença de água, em particular com a coesão”.

Em 2003, Nogami e Villibor apresentam novas modificações para o Método das Pastilhas, tanto quanto ao equipamento mini penetrômetro de pé, a moldagem das pastilhas (pastilhas secas normais ou comprimidas), a reabsorção de água normal ou lenta, entre outros.

Vários dispositivos (aperfeiçoamento dos aparelhos do ensaio) foram introduzidos para facilitar o procedimento do ensaio, visando com isso resultados mais correlacionáveis com a classificação obtida do procedimento básico de compactação de corpos-de-prova.

É apresentado um mini penetrômetro com pé, dotado de dispositivo elétrico, lupa e outros detalhes, e sua principal vantagem é permitir de maneira precisa o deslocamento vertical do mini penetrômetro. Nogami, também, salienta que pode ser usado o penetrômetro destinado à medida de penetração de cimento asfáltico de petróleo no ensaio das pastilhas, tendo apenas o inconveniente de o pé ser fixo. Segundo ele, os resultados obtidos com o mini penetrômetro com pé diferem dos obtidos com o mini penetrômetro manual.

Com o objetivo de padronizar a compressão das pastilhas durante moldagem é apresentada uma prensa estática. Obtém-se, então, contração menor na secagem e o que é mais significativo, uma maior consistência (menor penetração do mini penetrômetro) após a secagem e reabsorção efetuadas da maneira normal, nos solos de comportamento laterítico. Esse aumento não tem sido observado nos solos de comportamento não laterítico. O seu uso limita-se portanto quanto a dúvida quanto ao seu caráter laterítico, devido ao fato do resultado da penetração, após reabsorção d'água, resultar em valores pouco acima do limite adotado para a classe laterítica.

Fixou-se um valor de C_t (contração radial por secagem), para o qual é recomendado efetuar o ensaio de pastilhas comprimidas. Para os solos arenosos finos do Estado de São Paulo é recomendado $C_t < 1,4\text{mm}$.

Também, Nogami e Villibor (2003) apresentam um dispositivo para reabsorção lenta de água pela pastilhas, utilizando um papel filtro com “rabicho” de 5mm largura, que permite uma regulação na ordem de 5g/min. Segundo os autores, a reabsorção lenta de água tem sido necessária para que em certos solos argilosos de comportamento laterítico, evite-se a formação de trincas e fissuras.

Outro procedimento importante é a padronização dos pontos a serem penetrados pelo mini penetrômetro. Contrariamente ao procedimento que vinha sendo seguido, definiu-se a seguinte regra: a) submeter à reabsorção normal em pelo menos 3 pastilhas normais e eventualmente 3 pastilhas comprimidas e pelo menos 2 pastilhas para reabsorção lenta; b) em cada pastilha, efetuar 3 medidas dispostas simetricamente, ao longo de um círculo de raio igual a metade do raio da pastilha quando não houver trincas ou fissuras identificáveis a olho nú ou ainda trincas ou

fissuras identificáveis mas separando blocos muito pequenos (cerca de 1mm^2); c) quando ocorrer trincas e fissuras bem desenvolvidas, escolher 3 blocos maiores e efetuar a penetração em um ponto mais central possível ou mais longe possível dos seus bordos, que corresponderia ao centro de gravidade da Figura dos mesmos. A designação genérica tem sido: P_n no caso de pastilhas normais, P_c no caso de pastilhas comprimidas e P_f no caso de pastilhas submetidas à reabsorção lenta. A Tabela de identificação dos grupos mostrada na Figura 2.7 foi elaborada face à adoção dos novos procedimentos apresentados e a obtenção de novos dados de amostras pertencentes pedologicamente a Classe dos Argissolos, segundo a nova Classe Brasileira de Solos de 1999. Tendo em vista que a obtenção dos valores P_c e P_f ainda estão limitadas ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola politécnica da USP (Universidade de São Paulo) e o uso da Tabela de identificação poderá ser feito provisoriamente adotando-se o valor $2 \times P_n$, no eixo vertical. A Figura 2.7 ilustra a Tabela de identificação dos grupos de solos.

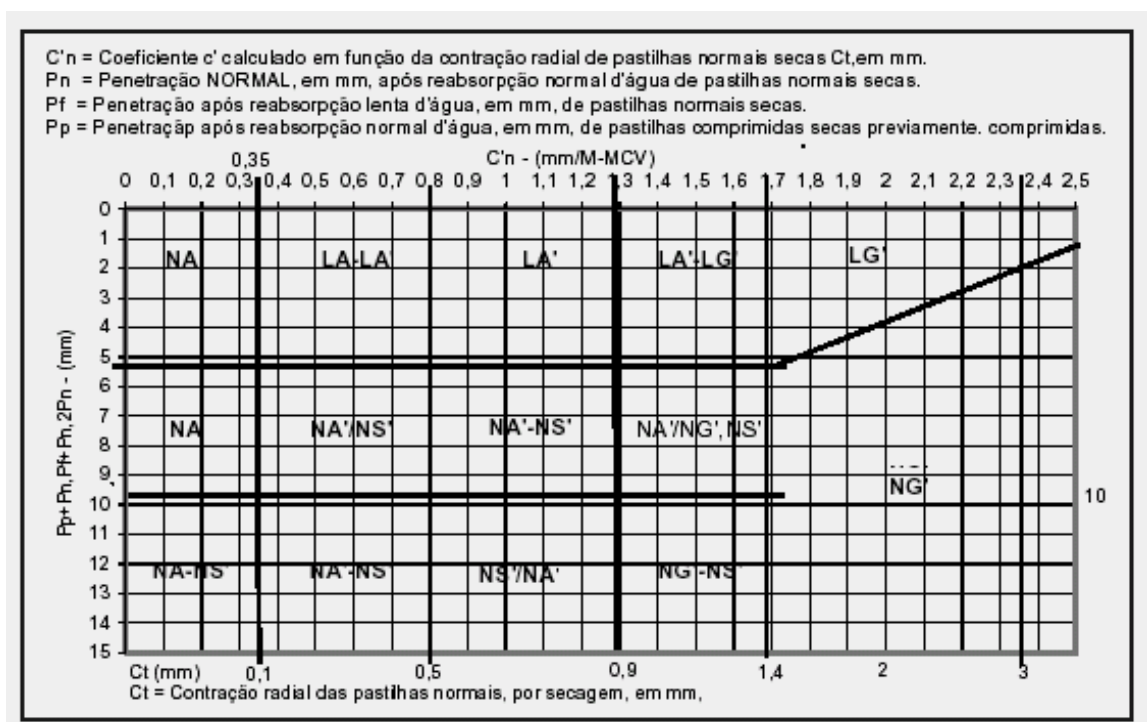


Figura 2.7: Tabela de identificação para uso do mini penetrômetro com pé, pastilhas secas normais ou comprimidas (solos arenosos), submetidas a reabsorção d'água normal ou lenta – aproximação 2002.(NOGAMI e VILLIBOR, 2003, p.66).

Os autores ressaltam que regionalmente está havendo a possibilidade de desenvolver classificações geotécnicas mais específicas e mais simples, devido a disponibilidade de mapas

geológicos e pedológicos mais detalhados, aumentando a possibilidade de efetuar simplificações sobretudo para o procedimento visual-táctil que leve em considerações outras propriedades não consideradas. Para uso do mapa Pedológico do Estado de São Paulo, edição 1999, escala 1:500.000 com 367 unidades de mapeamento, foi possível desenvolver uma Tabela classificatória visual-táctil, mais simples, porém envolvendo outras propriedades (resistência ao esmagamento de bolinha, plasticidade) para uso específico na procura de jazidas de solos para aproveitamento em rodovias vicinais.

2.2.3.2 Comparação entre o Procedimento Básico ‘Original’ e o Método das Pastilhas

Dados obtidos no laboratório de tecnologia de pavimentação da EPUSP (Escola Politécnica da USP) indicaram uma boa correlação da contração linear medida pelo Método das Pastilhas, com o coeficiente c' da classificação MCT, sobretudo quando as pastilhas são moldadas com umidade fixada por meio de um penetrômetro portátil. Fixa-se o teor de umidade, com o referido penetrômetro, de maneira que a umidade esteja próxima, porém abaixo do limite de liquidez tradicional.(NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Para confirmar a classificação obtida pelo Método das Pastilhas, Godoy (1997, p.86), realizou os ensaios da metodologia MCT (ensaios de mini-MCV e Perda de Massa por Imersão) em 12 amostras, verificando que “os resultados mostram que há uma grande aproximação entre os valores obtidos, confirmando assim a eficácia do método expedito”.

Novamente, Godoy et al. (1998, p.98-9), ressalta que “quanto aos resultados dos ensaios do MCT ‘original’ realizados em oito amostras, verificou-se que corroboram com os encontrados na identificação expedita das pastilhas, confirmando, portanto, a eficácia desses ensaios”. Também, os autores fazem comentários importantíssimos das relações entre o MCT original e o Método das Pastilhas, quanto ao coeficiente c' e o índice e' necessários na classificação geotécnica dos grupos MCT. “O valor de c' da classificação MCT (método original) é obtido a partir das curvas de deformabilidade. No ensaio expedito das pastilhas, o valor de c' é obtido por meio de curvas de correlação das medidas da contração das pastilhas. O índice e' , função das curvas de compactação e da Perda de Massa por Imersão no MCT original, reflete a estruturação do solo após a compactação e a manutenção da resistência (principalmente coesão) em presença de água. Já no ensaio expedito, este índice é obtido por meio da medida direta da resistência à penetração de uma agulha na pastilha após a reabsorção d’água”.

Fortes, Merighi e Neto (2002b) comparam a classificação convencional (original) MCT com a classificação pelo Método das Pastilhas para 34 amostras e, observam “que as discrepâncias de classificação são mais representativas para os solos arenosos, quer possuam ou não comportamento laterítico. No entanto, no caso desses solos as suas propriedades não diferem muito. Os demais resultados estão coerentes, levando-se em conta que o Método das Pastilhas é utilizado para identificação preliminar de solos pela metodologia MCT”.

2.2.4 Identificação Geotécnica dos Solos Desvinculada da Metodologia MCT – Método das Pastilhas

Godoy e Bernucci (2000) apresentam uma nova proposição para o Método das Pastilhas, que consiste essencialmente na avaliação de propriedades de pastilhas de solos moldadas em anéis de aço inox de 35mm de diâmetro e 10mm de altura. Após secagem em estufa a 60°C e saturação em pedra porosa, avaliam-se a umidade de moldagem das pastilhas, a contração, a expansão (inchamento), a reabsorção de água pela pastilha, a penetração das pastilhas com cone de 60º graus de 10g e 30g e outras características, hierarquizando os grupos de solos dentro de um guia identificatório de solos tropicais.

O procedimento proposto por Godoy e Bernucci (2000) surgiu após muito estudo e análise dos comportamentos dos solos, para suprir uma lacuna não contemplada pela classificação dos grupos de solo da metodologia MCT (procedimento ‘original’ ou “convencional”) e/ou Método das Pastilhas com uso da metodologia MCT.

Segundo Godoy e Bernucci (2000), a primeira dificuldade foi em identificar os solos considerados como transicionais, e assim, adaptações na metodologia foram realizadas para melhorar a caracterização destes solos, como: aumento do diâmetro da pastilha, mudança no sistema de penetrações e incrementos da avaliação de outras características, podendo-se chegar a um melhor comportamento geotécnico dos solos.(GODOY e BERNUCCI, 2000).

As divergências constatadas por Godoy e Bernucci (2000) entre os ensaios da metodologia MCT “convencional” (corpos-de-prova compactados – diâmetro de 50mm e altura de 50mm) e o Método das Pastilhas foram:

- Houve caso que a Metodologia “Convencional” identificou o solo como laterítico típico, com c' (0,68) bem abaixo do limite de 2. No Método das Pastilhas (35mmx10mm), a mesma “amostra apresentou comportamento adverso, (...) não tão pronunciadamente laterítico, pois a amostra sofreu uma significativa interação com a água. Essa interação reflete-se na perda da resistência, inchamento e reabsorção de água consideráveis”;
- Também, ocorreram casos que a Metodologia “Convencional” identificou os solos como não-laterítico e no Método das Pastilhas (35mmx10mm), “os seus comportamentos mostraram-se mais próximos da classe dos lateríticos, porque as pastilhas sofreram pequena interação com a água, refletida nas pequenas perda de resistência, inchamento e reabsorção de água”; e
- Em muitos casos, a Metodologia Convencional e o “Método das Pastilhas (35mmx10mm)” identificam as amostras dentro do mesmo grupo de solo.

O objetivo principal do método é o de conseguir *identificar*, de uma *maneira expedita*, os diversos *tipos de ocorrências de solos* das camadas constituintes dos perfis. Esse método visual-táctil, de caráter preliminar, deverá fornecer subsídios suficientes para que a amostragem dos solos e conseqüentemente obtenção dos valores de projeto sejam mais realistas e menos dispendiosas. Desta forma, o resultado da identificação preliminar precisa ser obtido no próprio campo a fim de se dar prosseguimento na coleta de amostras.(GODOY e BERNUCCI, 2000).

Segundo Godoy e Bernucci (2002), “o mais essencial do método (...), é a proposta de quantificação *do fenômeno de irreversibilidade adquirida*, total ou parcial, de propriedades de alguns solos tropicais, conhecidos por lateríticos (...). Da quantificação resulta uma *hierarquização do comportamento geotécnico dos solos*”.

A identificação expedita de solos proposta pelos autores hierarquiza os solos tropicais em três grandes classes, os lateríticos, os transicionais e os não lateríticos e, 11 grupos de solos com características distintas quanto ao seu comportamento geotécnico. Os solos lateríticos são subdivididos em típicos, argilosos, arenosos e areias. Os solos transicionais são subdivididos em argilosos, arenosos e areias e os não lateríticos são subdivididos em argilosos, siltosos, arenosos e areias.(GODOY e BERNUCCI, 2002).

2.2.5 Metodologia MCT – MODIFICADA (MCT-M)

Vertamatti (1988¹⁶) (Apud VERTAMATTI e OLIVEIRA, 1997) fez modificações no Ábaco de Classificação dos grupos de solos tropicais da Metodologia MCT, inserindo o grupo dos solos transicionais, como mostra a Figura 2.8 de classificação MCT-M.

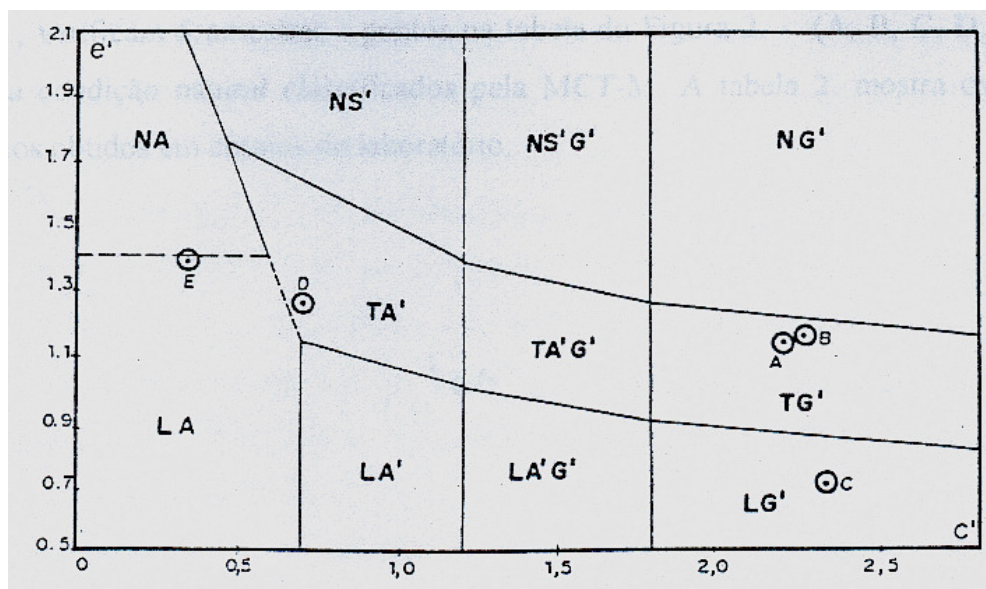


Figura 2.8: Classificação MCT-M. (VERTAMATTI e NETO, 1997b, p.373).

Na Figura 2.8 verificam 5 amostras - pontos A, B, C, D, E - de solos Plintíticos na condição natural classificados pela MCT-M. A Figura 2.9 mostra os parâmetros classificatórios obtidos em ensaios de laboratório.

Amostra nº.	Parâmetros Classificatórios				Classificação MCT
	c'	d'	Pi	e'	
A	2,20	106	130	0,71	TG'
B	2,27	122	150	1,17	NG' - TG'
C	2,35	55,5	0	0,71	LG'
D	0,72	50	164	1,27	TA'
E	0,37	56,2	236	1,39	NA - LA

Figura 2.9: Parâmetros classificatórios das 5 amostras. (VERTAMATTI e NETO, 1997, p.373).

¹⁶ Vertamatti, E. (1988). *Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e Resiliente*. Tese de Doutorado, ITA, São José dos Campos.

2.3 CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA

O Cone de Penetração Dinâmica (DCP) é um equipamento que permite avaliar a capacidade de suporte de um perfil de solo “in situ” até uma profundidade de 800mm, de maneira rápida, sem a necessidade de escavações. O DCP permite diagnosticar a *variação da resistência* ao longo do perfil, podendo-se assim, identificar os diferentes níveis de camadas de solo correspondentes a essa resistência.

2.3.1 Histórico DCP e Aplicação

Em 1956, na Austrália, Scala desenvolveu um DCP portátil chamado de Penetrômetro Scala. Desde então, várias instituições do mundo começaram a utilizar este equipamento como resultado de sua simplicidade e mobilidade. E em 1969, Van Vuuren no Zimbábue, modificou o penetrômetro Scala, concluindo que a correlação DCP e CBR são imensas.(HARISON, 1986; PONCE, GUZMÁN Z. Luiz e GUZMÁN Z. Elias, 1991).

Overby (1982), do Departamento de estrada de Botswana, África, pesquisou em 1980 a utilização do DCP, Viga Benkelman e Clegg-Hammer, comparando-os resultados e concluiu que o DCP é o método de melhor aplicabilidade em campo.

Smith e Pratt (1983) citam que, Garidel-Thoron e Javor (1983¹⁷) relatam um desenvolvimento na França de um pequeno penetrômetro dinâmico para estimar o valor de CBR. Também, segundo Smith, na Belgium, foi desenvolvido um DCP com 10kg de massa e altura de queda de 500mm (Centre de Recherches, Routieres 1980¹⁸). Smith e Pratt utilizaram, em campo, durante a investigação de solo de fundação o penetrômetro Scala com 9,08kg, altura de queda de 508mm e cone de 30° e seção de 322mm².

Segundo Harison (1986), da Indonésia, o ensaio de CBR é amplamente usado em projetos de pavimentos em diferentes países. A determinação “in situ” do CBR por métodos convencionais consomem tempo e precisa-se de equipamentos de elevado custo. Existem diferentes métodos de estimar o CBR para solos granulares ou plásticos. No entanto, um dos métodos mais precisos é o uso do DCP.

¹⁷ de Garidel-Thoron, R. e Javor, E. (1983). *Un petit penetrometre dynamique pour evaluer l'indice C.B.R.* Proc. Int. Symp. Soil and Rock Investigations by In Situ Testing. Paris. Vol.2, pp. 43-47.

¹⁸ Centre de Recherches Routieres. (1980). *Light Percussion Sounding Apparatus*. C.R.R. leaflet A25.

Chua (1987), dos Estados Unidos mostrou que é possível obter o módulo de elasticidade “in situ” usando o DCP.

Angelone, Tosticarelli e Martinez (1991), do Instituto de Mecânica Aplicada e Engenharia da Universidade de Rosário – Argentina, utilizaram o DCP africano, correlacionado este com outros parâmetros de caracterização estrutural dos materiais. Na comparação dos resultados obtidos com o DCP e os de uma estrutura calculada, concluíram, neste caso, que o DCP permite detectar de forma rápida e suficientemente precisa o grau de heterogeneidade das propriedades estruturais das distintas camadas encontradas em uma seção, quando se trata de pavimentos urbanos.

No Chile, Ponce, Guzmán Z. Luiz e Elias (1991) utilizaram o DCP e, obtiveram uma correlação DCP x CBR para solos finos citando a necessidade de investigar os parâmetros relacionados com o solo, como tipo de solo, características dos grãos, grau de saturação. Além disso, todos os resultados, tanto de forma geral como para cada tipo de solo deveriam ser analisados estatisticamente.

Segundo Karunaprema e Edirisinghe (2002), do Sri Lanka, é possível introduzir o DCP para autoridades locais que lidam com construção e manutenção de ruas. No Sri Lanka, as autoridades locais raramente investigam o subleito para execução de projetos, por não terem facilidade de investigar o pavimento existente. No entanto, o DCP pode ser introduzido para projetos de ruas como um instrumento efetivo de avaliação. Os autores, em pesquisa de laboratório, desenvolveram correlações entre DCP e CBR, e também, entre DCP/teor de umidade, DCP/densidade seca/teor de umidade, DCP/teor de umidade/densidade seca/densidade seca máxima e DCP/teor de umidade/teor de umidade ótima. Os resultados de investigação de laboratório indicaram que o DCP pode ser usado como um instrumento efetivo em construção e manutenção de pavimentos.

Amini (2003), do Mississippi, EUA, focaliza em seu estudo as várias aplicações do DCP. Segundo ele, o DCP é o mais versátil e rápido equipamento de avaliação “in situ” disponível. O DCP é aplicado para estimar CBR, resistência a compressão simples, módulo resiliente e resistência cisalhante. Também, pode-se usá-lo na avaliação de camadas de pavimento. Outra aplicação potencial do DCP é seu uso no controle de qualidade de compactação.

No Brasil, o DCP tem sido estudado pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná – DER/PR (Heyn, 1986); pela Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo – USP (Rohm e Nogueira, 1990¹⁹); pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (Oliveira e Vertamatti, 1997); no Estado do Paraíba por Rodrigues e Lucena (1991²⁰) e, por Santana, Lucena e Macêdo (1998²¹). (ALVES, 2002).

Na Universidade Federal de Santa Catarina vem sendo estudado por Trichês, Alves e Fontes, desde 1997. (FONTES, 2001; ALVES e TRICHÊS, 2002).

2.3.2 O Equipamento DCP e Procedimento de Ensaio

De acordo com Oliveira e Vertamatti (1998), diversos países utilizam o DCP como ferramenta para projeto e avaliação de pavimento. “Existem duas versões deste equipamento: a que utiliza um cone de penetração de 60° e, a que emprega o cone de 30°. Prevalece a utilização do cone de 60°”, o qual, segundo Kleyn (1975²²), (Apud OLIVEIRA e VERTAMATTI, 1998), “possui uma maior vida de serviço e produz uma melhor definição dos pontos críticos das Curvas DCP”.

O DCP, padrão Sul Africano, de maior utilização no Brasil, consiste em uma barra de aço de 16mm de diâmetro e um cone de 60 graus de abertura com 20mm de diâmetro, fixado na extremidade da barra. O DCP é introduzido no solo através do impacto de um martelo com massa de 8kg que desliza em uma barra de aço 25mm de diâmetro. Na lateral da barra de 16mm é colocada uma régua graduada de aço para medir a profundidade de penetração do cone a cada série de golpes escolhido arbitrariamente. O alcance de penetração do cone de 60° é de 800mm a 1000mm abaixo da superfície, como ilustrada a Figura 2.10. Os componentes do equipamento (barra 25 e 16mm, martelo, interligação entre barra e cone) são todos encaixados através de roscas e devem estar bem atarraxadas para execução do ensaio.

¹⁹ Ronh, S.A.; Nogueira, J.B. (1990). *Determinação de Mini-CBR através do Ensaio de Penetração Dinâmica*. XXIV Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro.

²⁰ Rodrigues, J.K.G.; Lucena, F.B. (1991). Avaliação Estrutural de um Trecho Pavimentado com Solos Lateríticos, no Estado da Paraíba, através de Ensaio Deflectométricos e Pressiométricos,. 25ª Reunião Anual de Pavimentação, pág. 2531-2557. São Paulo.

²¹ Santana, J.M.; Lucena, F.B.; Macêdo, J.A.G. (1998). *Avaliação Estrutural de Pavimentos através de Ensaio Pressiométricos, Ensaio de Placa e CBR In Situ*. XI Congresso de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Vol. 1, pág. 665-672. Brasília.

²² Kleyn, E.G. (1975). The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Report 2/74, Transvaal Roads Department.

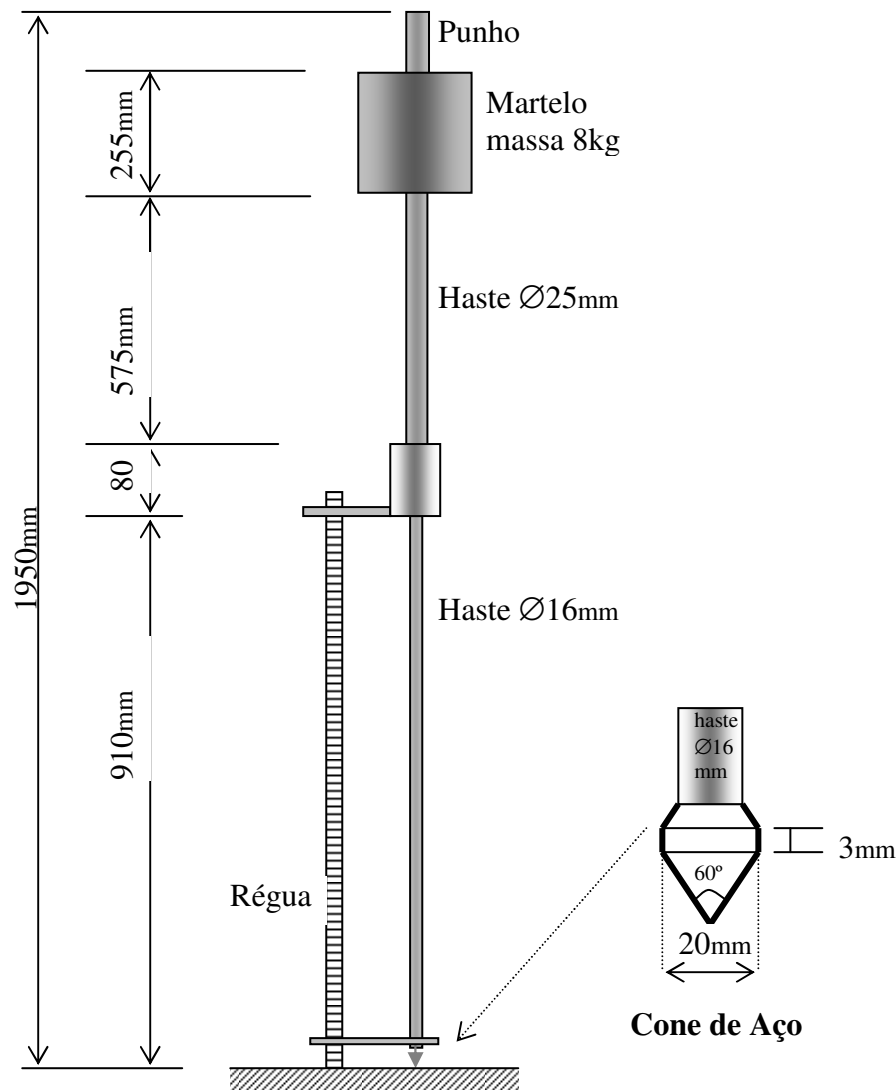


Figura 2.10: Equipamento Dynamic Cone Penetrometer (DCP).

Para executar o ensaio com o equipamento DCP, existem manuais de procedimento para execução do ensaio, aqui citados:

- O procedimento do Laboratório de Pesquisa de Transporte (TRL Transport Research Laboratory), da Inglaterra (U.K – United Kingdom) com o Departamento Internacional de Desenvolvimento (DFID Department for International Development) - *ORN 18* – “Overseas Road Note 18 – A guide to the pavement evaluation and maintenance of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries”, apêndice F: “TRL Dynamic Cone Penetrometer (DCP) test procedure”. (TRANSPORT RESEARCH LABORATORY, 1999).

- O procedimento canadense “Saskatchewan Highways and Transportation - Standard Test Procedures Manual” de 1992. (Disponível em:<http://www.highways.gov.sk.ca/docs/reports_manuals/STP_DOC/stp240_20.pdf>. Acesso em jan. 2004.)

Realiza-se o ensaio DCP com duas pessoas, no mínimo, sendo o ideal três pessoas. Um fica no controle do martelo de 8kg, outro na leitura da régua e um anotando os resultados.

O DCP deve estar posicionado verticalmente para o martelo de 8kg cair livremente em queda livre. Qualquer inclinação do equipamento gera um atrito entre a barra de 25mm e o martelo, superestimando o valor da resistência do solo obtido pelo equipamento.(ALVES, 2002). A Figura 2.11 ilustra o DCP posicionado verticalmente.



Figura 2.11: Ensaio de DCP em campo.

A operação do DCP é extremamente simples. Um operador segura no punho e levanta o martelo e, outro faz as leituras de penetração do cone na régua. Aplica-se um primeiro golpe sem levantar totalmente o martelo, de forma a permitir uma pequena penetração do cone e conseqüentemente a mobilização total da resistência de ponta. Nesse momento, deve-se calibrar a régua graduada, anotando a leitura zero em uma planilha de campo.

A partir de então, inicia-se a cravação do cone para sucessivos golpes. O número de golpes arbitrariamente escolhido pode ser mudado dependendo da resistência da camada penetrada. O TRL (1999) recomenda para base granular de boa qualidade, 5 ou 10 golpes, e para sub-base e subleito de baixa resistência 1 a 2 golpes por leitura de penetração. Se as leituras de penetração não forem freqüentes, pontos fracos não serão avaliados e será mais difícil identificar, precisamente, as divisas das camadas, perdendo-se importantes dados.

De acordo com o TRL (1999), o índice de penetração tão baixo quanto 0,5mm/golpe são aceitáveis, mas se para 20 golpes sucessivos não houver penetração, considerar como impenetrável.

O cone deve ser trocado quando o seu diâmetro reduzir em mais de 10%, quando a superfície estiver ruim ou a ponta danificada.(SASKATCHEWAN HIGHWAYS AND TRANSPORTATION, 1992).

2.3.3 Interpretação dos Resultados do DCP

A partir dos resultados de campo, traça-se a Curva DCP, indicando na ordenada a profundidade, em milímetros e, na abscissa, o número de golpes acumulados para alcançar esta profundidade. Plotados os pontos, traça-se a melhor reta e a inclinação desta representa o Índice de Penetração DN em mm/golpe, o qual é obtido através da razão entre a profundidade e o número de golpes necessários para penetrar até a respectiva profundidade. O DN representa a resistência que o solo apresenta à penetração do cone. A Figura 2.12 mostra a mudança da inclinação da reta, indicando alteração da resistência do material, devido, por exemplo, à variação do teor de umidade, massa específica aparente, ou ainda, mudança do tipo de material da camada.(CARDOSO e TRICHÊS, 1998; ALVES, 2002).

Na Figura 2.12 são ilustradas três camadas bem definidas, a primeira com espessura de 260mm e DN igual a 15mm/golpe, a segunda com 470mm e DN igual 50mm/golpe e a última, solo de fundação, sem uma definição da espessura, apresenta um DN de 8mm/golpe (CARDOSO e TRICHÊS, 1998).

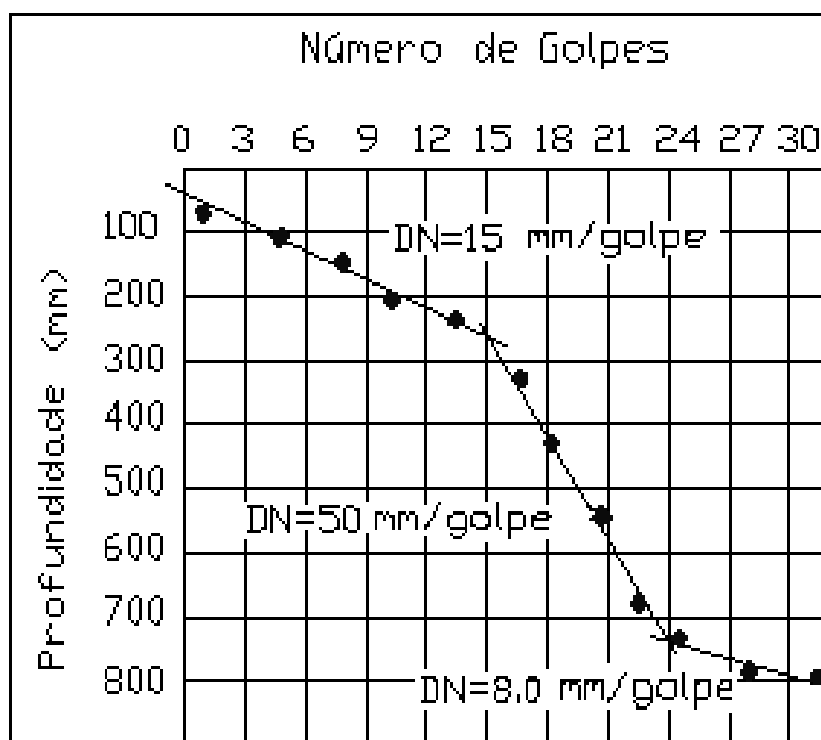


Figura 2.12: Curva DCP.(CARDOSO e TRICHÊS, 1998, p.651).

Quanto ao formato das curvas DCP, tiram-se conclusões sobre a homogeneidade da compactação com a profundidade e a eficiência do equipamento de compactação. Na Figura 2.13 são ilustradas três exemplos de Curvas DCP, com as seguintes interpretações: a Curva DCP 1 é típica quando se tem uma homogeneidade de compactação com a profundidade, mostrando um eficiente controle da compactação da camada; a Curva DCP2, indica que a parte superior da camada está compactada com um grau de compactação maior que a parte inferior. Esta curva pode indicar que se está gastando mais energia do que o necessário para compactar a camada, que o equipamento de compactação utilizado é inadequado para o solo que se deseja compactar ou, ainda, que a camada é muito espessa; a Curva DCP3, indica que a parte superior da camada apresenta um grau de compactação menor que a parte inferior, indicando a necessidade de recompactação.(ALVES e TRICHÊS, 2002).

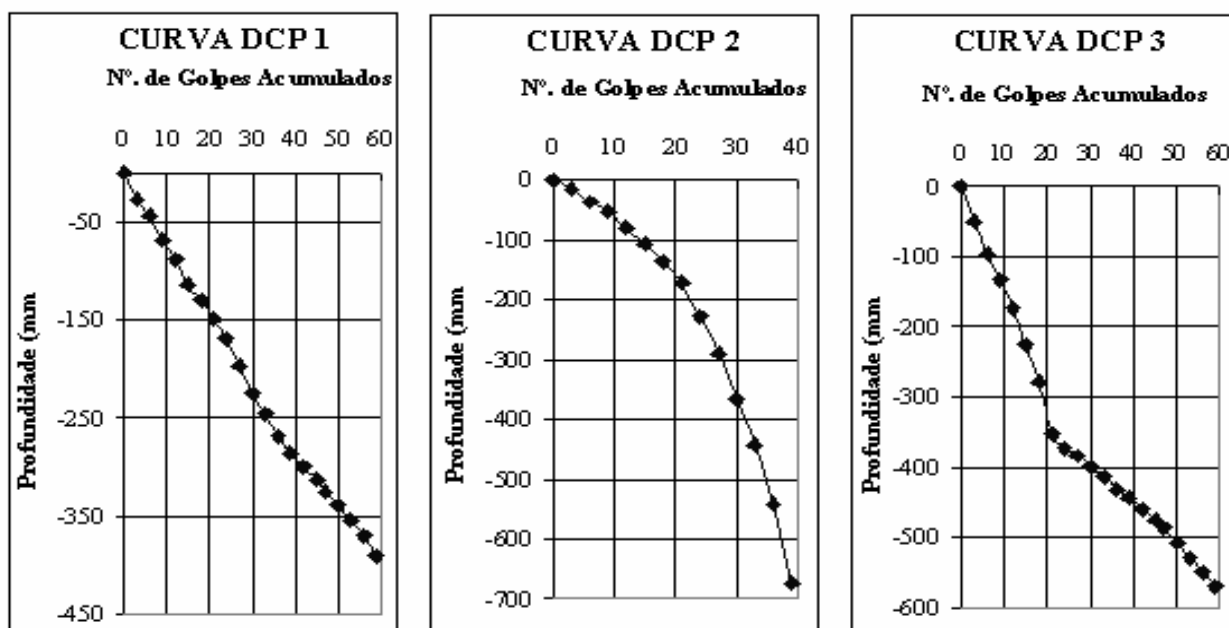


Figura 2.13: Formato das Curvas DCP. (ALVES e TRICHÊS, 2002, p.205).

2.3.4 Relações do Ensaio DCP e outros Ensaio

2.3.4.1 Ensaio DCP x Ensaio de CBR

Diversos estudos relacionam o ensaio de CBR com o ensaio de DCP, através do qual pode-se obter facilmente a resistência do solo com a vantagem de ser um ensaio simples e rápido, se comparado com o de CBR.

No Quadro 2.5 são ilustradas diversas relações CBR x DCP obtidas na literatura, o que mostra o interesse dos pesquisadores de várias partes do mundo pelo equipamento.

Nas Figuras 2.14 e 2.15 são apresentadas algumas das relações CBR x DCP do Quadro 2.5 para solos finos e granulares.

Quadro 2.5: Relações CBR x DCP da literatura.

País - Autor	Ano	Especificação do DCP			Correlação DCP x CBR			
		Cone (grau)	Martelo (kg)	A. queda (mm)	Nº. ensaios	Correlação	Solo	Obtido em:
Malaysa: Kasin e Hasin	1987	60	8	575	28	$\text{Log CBR} = 2,43 - 0,99 \log \text{DN}$	Solos coesivos	In situ DCP / In situ CBR
Malaysa: Kasin e Hasin	1987	60	8	575	60	$\text{Log CBR} = 2,24 - 0,81 \log \text{DN}$	Solos coesivos	In situ DCP / In situ CBR
Israel – Livneh	1987	30	8	575	74	$\text{Log CBR} = 2,2 - 0,71 (\log \text{DN})^{1,5}$		Combinação in situ e lab. CBR
Indonésia-Harison	1986	60	8	575		$\text{Log CBR} = 2,56 - 1,16 \log \text{DN}$	Clay like soil	Lab. DCP / lab. CBR
Indonésia-Harison	1986	60	8	575		$\text{Log CBR} = 3,03 - 1,51 \log \text{DN}$	Sand s-w	Lab. DCP / lab. CBR
Indonésia-Harison	1986	60	8	575		$\text{Log CBR} = 2,55 - 0,96 \log \text{DN}$	Gravel g-w	Lab. DCP / lab. CBR
Indonésia-Harison	1986	60	8	575		$\text{Log CBR} = 2,81 - 1,32 \log \text{DN}$	Dados combinados (Clay; sand; gravel)	Lab. DCP / lab. CBR
Austrália – Smith e Pratt	1983	30	9,08	508		$\text{Log CBR} = 2,555 - 1,145 \log \text{DN}$ Todos resultado de Smith, inclusive os de Scala	Solo argiloso com pedregulho	In situ DCP / in situ CBR
África do Sul-Kleyn	1975	60	8	575	2000	$\text{Log CBR} = 2,631 - 1,28 \log \text{DN}$		Lab. CBR/ lab. DCP
Inglaterra – TRRL	1990	60				$\text{Log CBR} = 2,48 - 1,057 \log \text{DN}$		
Chile - Ponce et al.	1991	60	8	575	101	$\text{Log CBR} = 2,89 - 1,46 \log \text{DN}$	Solos finos (argila; areia)	Lab. DCP / lab. CBR
Argentina-Angelone et al.	1991	60	8	575		$\text{CBR} = 450 \text{DN}^{-1,05}$	Solos finos	Lab. DCP / lab. CBR
Sri Lanka - Karunaprema et al.	2002	60	8	575		$\text{Log CBR} = 2,182 - 0,872 \log \text{DN}$ DCP / DUCBR (DU disturbed unsoaked)	Clay ou silty sand	Lab. DCP / lab. CBR

Quadro 2.5: Relações CBR x DCP da literatura (*continuação*).

Karunaprema et al.	2002	60	8	575		$\text{Log CBR} = 1,145 - 0,336 \log \text{DN}$ $\text{DCP/UUCBR (UU undisturbed unsoaked)}$	Clay ou silty sand	Lab. DCP / lab. CBR
Karunaprema et al.	2002	60	8	575		$\text{Log CBR} = 1,671 - 0,577 \log \text{DN}$ $\text{DCP / DSCBR (DS disturbed soaked)}$	Clay ou silty sand	Lab. DCP / lab. CBR
Oliveira	1998	60	8	575	70	$\text{Log CBR} = 2,49 - 1,057 \log \text{DN}$	Solos transicionais	Lab. DCP / lab. CBR
Alves et al	2002	60	8	575		$\text{Log CBR} = 2,03 - 1,01 \log \text{DN}$		Lab. DCP / lab. CBR
Alves	2002	60	8	575		$\text{CBR} = 351,48 \text{DN}^{-1,05} \text{ DCP/DUCBR}$ $\text{CBR} = 148,60 \text{DN}^{-1,01} \text{ DCP/DSCBR}$	A-2-4	Lab. DCP / lab. CBR
Alves	2002	60	8	575		$\text{CBR} = 954,99 \text{DN}^{-1,27} \text{ DCP/DUCBR}$ $\text{CBR} = 516,49 \text{DN}^{-1,17} \text{ DCP/DSCBR}$	A-2-7	Lab. DCP / lab. CBR
Alves	2002	60	8	575		$\text{CBR} = 497,66 \text{DN}^{-1,21} \text{ DCP/DUCBR}$ $\text{CBR} = 127,19 \text{DN}^{-0,94} \text{ DCP/DSCBR}$	A-4	Lab. DCP / lab. CBR
Alves	2002	60	8	575		$\text{CBR} = 247,93 \text{DN}^{-1,06} \text{ DCP/DUCBR}$ $\text{CBR} = 77,63 \text{DN}^{-0,96} \text{ DCP/DSCBR}$	A-7-5	Lab. DCP / lab. CBR
Alves	2002	60	8	575		$\text{CBR} = 900,32 \text{DN}^{-1,37} \text{ DCP/DUCBR}$ $\text{CBR} = 107,20 \text{DN}^{-0,93} \text{ DCP/DSCBR}$	A-7-6	Lab. DCP / lab. CBR
Alves	2002	60	8	575		$\text{CBR} = 363,67 \text{DN}^{-1,10} \text{ DCP/DUCBR}$ $\text{CBR} = 79,46 \text{DN}^{-0,82} \text{ DCP/DSCBR}$	Dados combinados dos solos acima	Lab. DCP / lab. CBR
Fontes	2001	60	8	575		$\text{CBR} = 456,63 \text{DN}^{-1,36} \text{ DCP/DSCBR}$	A-4	Lab. DCP / lab. CBR
Fontes	2001	60	8	575		$\text{CBR} = 1075,34 \text{DN}^{-1,74} \text{ DCP/DSCBR}$	A-3	Lab. DCP / lab. CBR
Fontes	2001	60	8	575		$\text{CBR} = 467,20 \text{DN}^{-1,41} \text{ DCP/DSCBR}$	Dados combinados	Lab. DCP / lab. CBR

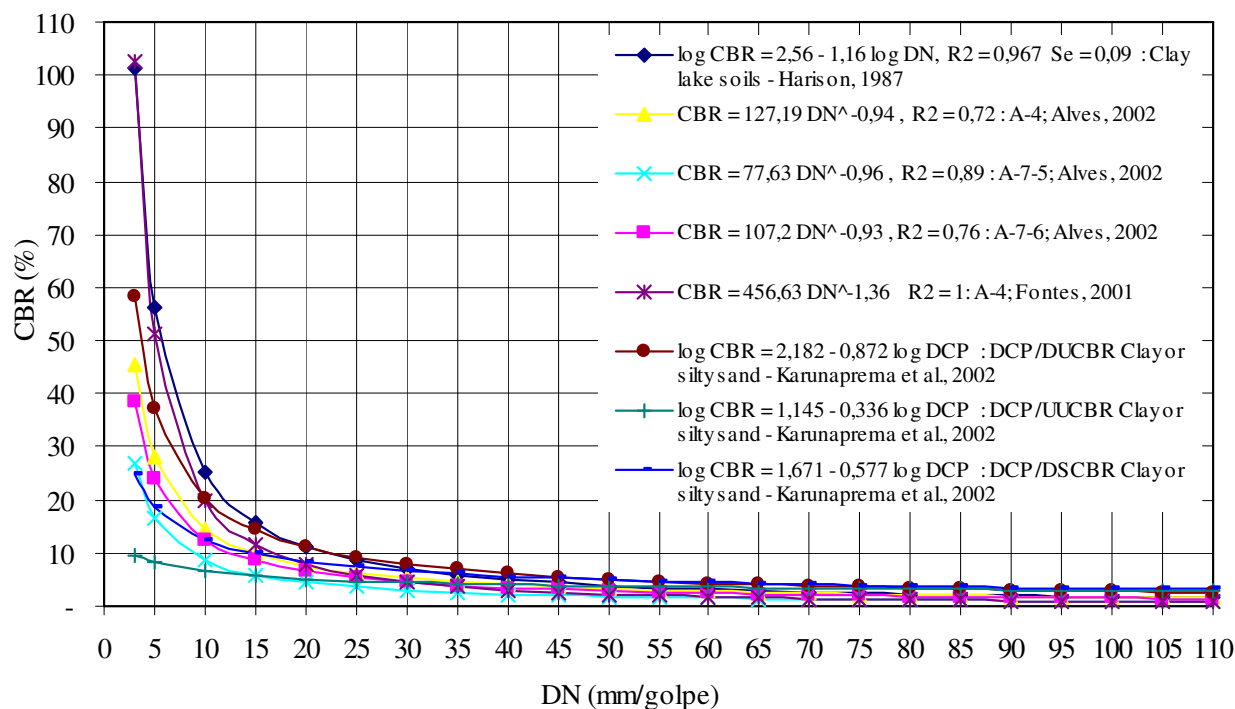


Figura 2.14: Curvas CBR x DCP para solos finos.

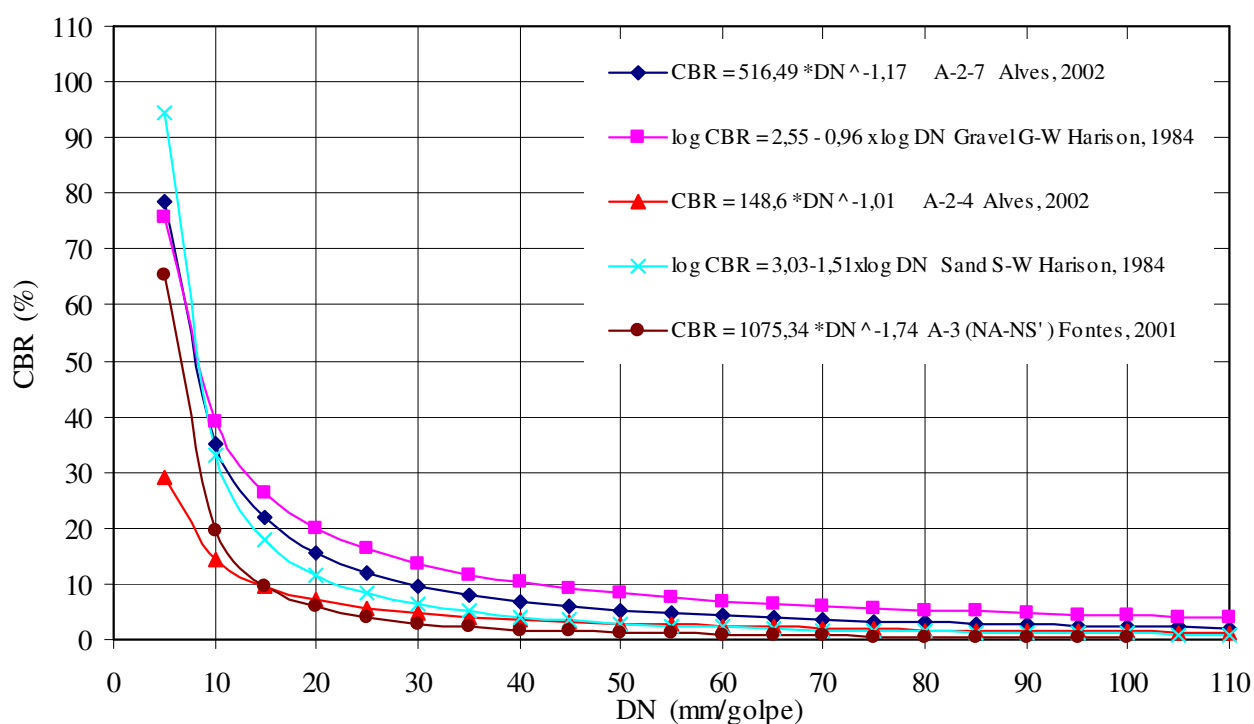


Figura 2.15: Curvas CBR x DCP para solos granulares.

2.3.4.2 Ensaio DCP x Ensaio de Resistência à Compressão Simples

McElvaney e Djatnika (1991) do Instituto de Tecnologia de Bandung – Indonésia relatam uma investigação de laboratório utilizando o DCP na medida de resistência de solo estabilizado com cal. Eles relacionam o ensaio de DCP com o ensaio de resistência à compressão simples (Unconfined Compressive Strength, UCS). Os corpos-de-prova para o ensaio de DCP foram confeccionados em molde de 152mm de diâmetro x 116mm de altura, enquanto que os corpos-de-prova para o ensaio de UCS foram de 50mm de diâmetro x 100mm de altura. Foram usados os teores de cal de 0, 3, 5 e 8% adicionados nos solos tipo: “silty-clay, clay” e “sand clay”. Eles apresentam relações para cada tipo de solo e, também, para os dados combinados. Para esses dados combinados, observou-se que há 50% de probabilidade de obter um valor de UCS determinado através de medidas do ensaio de DCP.

Valores médios: $\log UCS = 3,56 - 0,807 \log DN, r^2 = 0,52$ equação 2.2

95 % de confiabilidade: $\log UCS = 3,29 - 0,809 \log DN$ equação 2.3

99 % de confiabilidade: $\log UCS = 3,21 - 0,809 \log DN$ equação 2.4

Onde:

DN é o Índice de Penetração dado em mm/golpe.

2.3.4.3 Ensaio DCP x Módulo Resiliente obtido por Retroanálise

Angelone, Tosticarelli e Martinez (1991) com o objetivo de estabelecer relações para as condições de execução do ensaio e tipo de solos que se utilizam na Região Litoral da Argentina, realizaram um trabalho de verificação consistente comparando resultados do ensaio DCP com os de Módulo Resiliente (MR). Os valores de Módulo Resiliente foram obtidos por método indireto de retroanálise, utilizando em campo o equipamento defletométrico Lacroix. A relação obtida foi a seguinte:

$$MR \text{ (MPa)} = 201 DN^{-0,44} \quad \text{equação 2.5}$$

com DN já definido anteriormente.

Alves (2002) relacionou os valores de DN com os valores de MR, obtidos por método indireto de retroanálise, utilizando em campo o equipamento Viga Benkelman. A relação obtida foi a seguinte:

$$MR \text{ (MPa)} = 188,12 DN^{-0,58} \quad r^2 = 0,48 \quad \text{equação 2.6}$$

com DN já definido anteriormente.

Amini (2003) cita que Hassan (1996²³) indicou que a relação entre MR e DN é significativa para umidade ótima mas insignificante para umidade ótima $\pm 20\%$ e desenvolveu a relação:

$$MR \text{ (psi)} = 7013,065 - 2040,783 \ln (\text{DCPI}) \quad \text{equação 2.7}$$

Onde:

DCPI = DN, em polegadas/golpe.

Segundo Amini (2003), George e Uddin (2000²⁴) obtiveram para solos de granulometria fina e grossa as seguintes relações:

$$MR = 532,1 (\text{DCPI})^{-0,492} \quad (\text{fine-grained soils}) \quad \text{equação 2.8}$$

$$MR = 235,3 (\text{DCPI})^{-0,475} \quad (\text{coarse-grained soils}) \quad \text{equação 2.9}$$

com MR e DCPI já definido anteriormente.

2.3.5 Campos de Aplicações do Ensaio DCP

2.3.5.1 Investigação de Estradas Não Pavimentadas

A utilização do DCP em estradas não pavimentadas, principalmente nas vias urbanas com revestimento primário, propicia a avaliação da capacidade de suporte em todo seu leito, de forma homogênea, e nas condições de consolidação e umidade que ele se encontra.

Nesta investigação são executados ensaios DCP nas bordas esquerda e direita, nas trilhas de roda esquerda e direita e no eixo da pista nas estacas espaçadas a cada 150m no sentido longitudinal (FONTES, 2001). Em todas as posições são definidos os valores pontuais de DN. Na Figura 2.16 é ilustrada uma investigação de pavimento com revestimento primário em uma seção transversal. Para cada posição investigada, traça-se a curva DCP como apresentada na Figura 2.17. Essa curva apresenta um *revestimento primário (primeira camada)* com espessura de 190mm e DN de 13,57mm/golpe. Uma segunda camada com 145mm e DN de 24,17mm/golpe. Por último, a espessura do *solo de fundação*, que não pode ser definida devido ao limite da haste de penetração, porém, pode-se avaliar o DN, utilizando-se os números de golpes necessários para

²³ Hassan, A. (1996). *The Effect of Material Parameters on Dynamic Cone Penetrometer Results for Fine-Grained Soils and Granular Materials*. Ph.D. Dissertation, Oklahoma State University. Stillwater, Oklahoma.

²⁴ Georfe, K.P., e Uddin, W. (2000) *Subgrade Characterization for Highway Pavement Design*. Final Report, Mississippi Department of Transportation. Jackson, MS.

alcançar a profundidade do último golpe de cravação. Esse, apresenta um DN de 38,57mm/golpe para uma espessura de 270mm.

Fontes (2001) definiu o DN de campo a partir da representação de um gráfico cartesiano, indicando na abscissa os valores de DN de campo e, na ordenada, os valores de teores de umidade de campo. Também, considera que os valores de DN na posição “EIXO” não são levados em conta na definição dos DN aceitáveis, devido seu valor ser muito baixo, o que caracteriza uma capacidade de suporte muito elevada em relação aos demais pontos investigados, visto que nesta posição ocorre uma maior consolidação pela ação do tráfego.

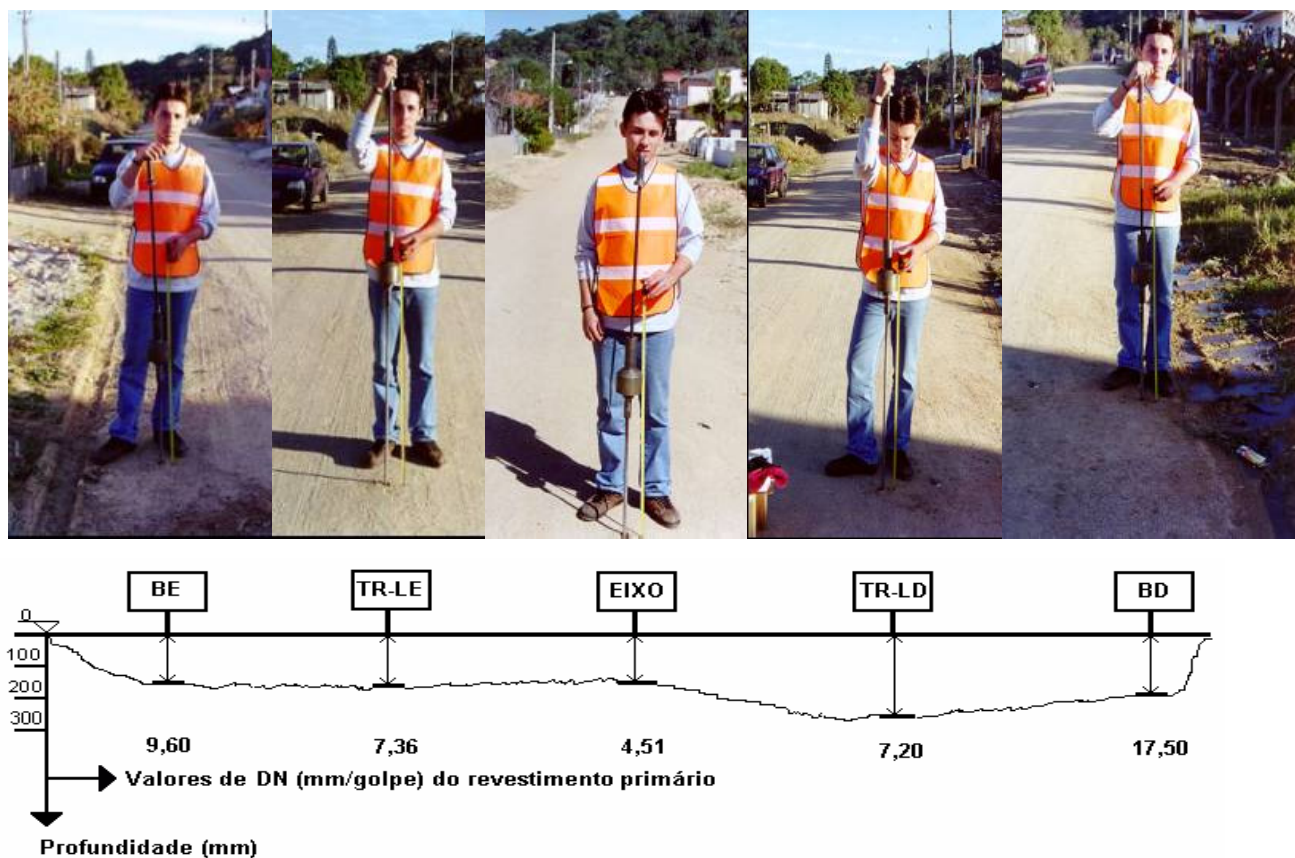


Figura 2.16: Investigação de uma via a ser pavimentada.(FONTES, 2001, p.99).

Os limites aceitáveis de DN de campo são definidos após investigação do revestimento primário, sendo que os valores de DN de campo devem ter umidade de campo dentro dos limites de $\pm 2\%$ da umidade ótima de laboratório, excluindo-se aqueles que estão fora da faixa.(FONTES, 2001).

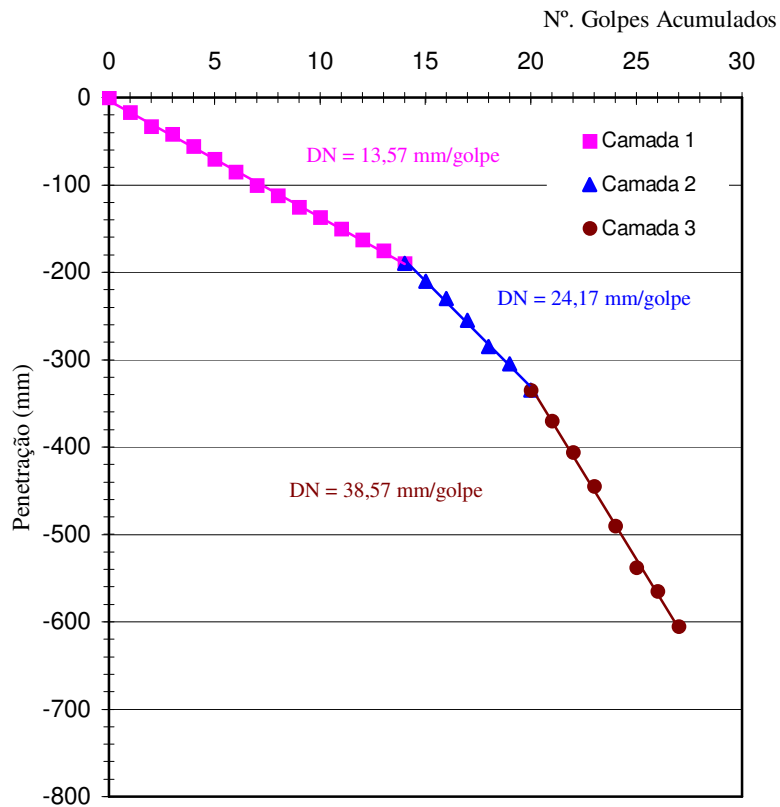


Figura 2.17: Curva DCP de um ponto investigado com o DCP.(FONTES, 2001).

Definido os valores de DN de campo e utilizando a relação CBR x DCP de laboratório para o solo investigado, defini-se o CBR de projeto.(FONTES, 2001).

2.3.5.2 Controle Tecnológico da Camada Final de Terraplenagem

O DCP pode ser empregado para controlar a compactação da camada que está sendo executada. Para tanto, inicialmente é necessário obter a Curva de Calibração CBR x DCP em laboratório. A Figura 2.18 ilustra uma curva de “calibração” CBR x DCP.(ALVES, 2002; ALVES e TRICHÊS, 2002).

Com a curva obtida, pode-se definir o DN de referência para o controle em campo, o qual dependerá do CBR de projeto – CBR_p. Supondo um CBR_p de 8,6%, tem-se na curva um DN de 12mm/golpe.

Em campo, executam-se os ensaios de DCP, em estacas previamente definidas. Na sequência, plotam-se os valores de DN obtidos em campo por estaca, para facilitar a visualização da eficiência da compactação, como mostra a Figura 2.19.

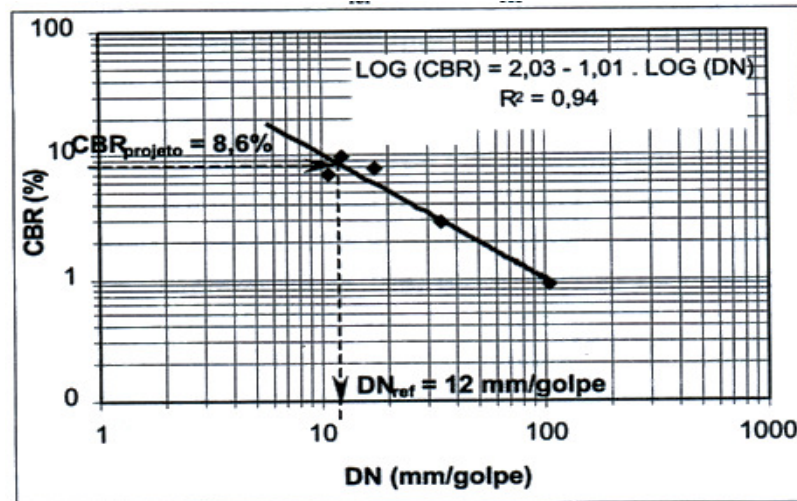


Figura 2.18: Curva de calibração CBR x DN.(ALVES e TRICHÊS, 2002, p.208).

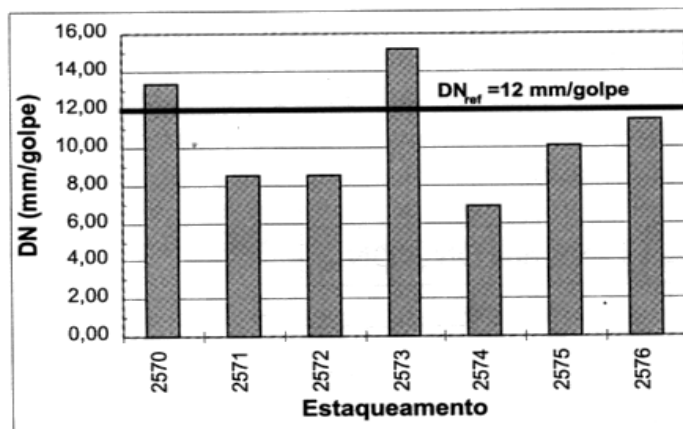


Figura 2.19: Resultados do ensaio DCP em campo.(ALVES e TRICHÊS, 2002, p. 208).

Neste procedimento, o valor de DN deve ser controlado no campo durante o processo executivo. Para um determinado tipo de solo, essa resistência depende basicamente do grau de compactação e do teor de umidade do solo. Partindo do pressuposto que durante o processo executivo o teor de umidade do solo permanece em torno da umidade ótima, a variação de resistência à penetração estaria associada à variação do grau de compactação. Por sua vez, a variação do grau de compactação implica na alteração da capacidade de suporte da camada compactada. Quando da execução da camada final de terraplenagem, é preciso garantir uma capacidade de suporte igual ou superior ao CBR de projeto utilizado no dimensionamento da estrutura. Assim, ao se utilizar o DCP, o qual possibilita avaliar “in situ” a resistência do material compactado através do DN, e levando-se em conta que se pode realizar um número maior de ensaios, tem-se uma maior probabilidade de atingir o CBR de projeto nesta camada.(ALVES e TRICHÊS, 2002).

Amini (2003) citou outras aplicações do DCP, podendo aplicá-lo no controle de qualidade de compactação para solo coesivo e material de enchimento selecionado, para o controle da qualidade de camada de base granular compactada, para “compactação de material granular ao redor de tubulação de diversas utilidades, e aplicação durante o enchimento e compactação de trincheiras de drenagem de pavimentos”.

2.3.5.3 Aplicação do DCP na Avaliação de Camadas de Pavimentos Existentes

Segundo Burnham,(1997²⁵), (Apud Amini, 2003), o Departamento de Transporte de Minnesota (Minnesota Department of Transportation – Mn/DOT), baseado em análises dos resultados de DCP do “Minnesota Road Research Project – Mn/Road”, tem recomendado os seguintes valores de DCPI (DN) durante estudos de reabilitação de pavimento:

- | | |
|---|------------------------------|
| a) Material siltsoso/argiloso: | DCPI menor que 25mm/golpe; |
| b) Material granular selecionado: | DCPI menor que 7mm/golpe; e, |
| c) Mn/Road Classe 3 graduação especial: | DCPI menor que 5mm/golpe. |

Os valores acima são baseados para condições de confinamento próxima da superfície. Quando valores maiores que os limites acima mencionados são encontrados, ensaios adicionais serão precisos. Nota-se que os valores acima são independentes do teor de umidade. O teor de umidade pode causar larga variabilidade dos DN. No entanto, limites de valores de DCPI foram recomendados.(AMINI, 2003).

2.4 IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS, PEDOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

Segundo Santos et al. (2001), “os levantamentos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos, incluídos os do Projeto RADAM (Remote Area Denial Artillery Munition), constituem importantes fontes de dados, ainda pouco explorados nos estudos geotécnicos. Esses dados contém informações valiosas que podem orientar a escolha de traçados rodoviários menos problemáticos sob o ponto de vista de soluções geotécnicas. Orientam na escolha de jazidas de solos e rochas. Apresentam análises físicas, químicas e mineralógicas (...). Contém análises químicas que indicam o potencial de expansão pela variação do teor de umidade dos solos. Tanto

²⁵ Burnhan, T.R. (1997). *Application of Dynamic Cone Penetrometer to Minnesota Department of Transportation Pavement Assessment Procedures*. Report No. MN/RC – 97/19, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN.

os levantamentos Geológicos como os Pedológicos trazem informações sobre a concentração de mica muscovita que causa sérios problemas de compactação. Mostram características geomorfológicas que indicam, claramente, o potencial de escorregamento de taludes. A descrição morfológica dos levantamentos de solos, bem como a observação de taludes expostos orientam sobre o potencial de erodibilidade dos solos. Esses dados, quando bem aproveitados, permitem a *otimização das campanhas de estudos geotécnicos.*”

A seguir, são descritos sucintamente, dados importantes obtidos nos levantamentos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos segundo Santos et al. (2001).

2.4.1 Estudos Geológicos

“Fornecem dados importantes sobre o leito rochoso, (...) e sobre os sedimentos do Terciário e do Quaternário. Em função da geologia estrutural, da litologia e das características mineralógicas das rochas e da alterabilidades desses minerais pode-se projetar o aproveitamento dos mesmos nas construções rodoviárias bem como inferir problemas decorrentes de seu uso.”

Quanto a susceptibilidade ao intemperismo, por exemplo: um granito, constituído por quartzo, feldspato e mica muscovita é relativamente mais estável do que um basalto constituído por piroxênio, olivina e anfibólios. “Se os minerais das rochas forem mais instáveis, o processo de formação dos solos é mais rápido e as espessuras de solo, relativamente maiores. Más condições de drenagem propiciam a formação de solos expansivos, com argilas 2:1 (família das montmorilonitas), ao contrário de boas condições de drenagem.”

Portanto, nos “horizontes de solo as propriedades dos minerais das rochas interferem no comportamento do produto final. Assim, o conhecimento da geologia e dos produtos de alteração dos minerais das rochas são importantes nos estudos geotécnicos.”

“Assim, os micaxistos (rochas) produzirão solos com diferentes proporções de mica muscovita nos diferentes horizontes de alteração. Mesmo não apresentando potencial de expansão quando se analisa a capacidade de troca de cátions, a ocorrência de mica muscovita causa sérios problemas quando o solo que a contém for utilizado compactado, principalmente devido à flexibilidade e à forma das partículas do solo. O comportamento expansivo ocorre não pela

Capacidade de Troca de Cátions (CTC) mas pela deformabilidade das placas de mica muscovita, rocha com alto teor de muscovita forma solo de má qualidade.”

Rochas que contém minerais que se alteram a argilo-minerais expansivos (esmectitas) também causam problemas geotécnicos.

2.4.2 Estudos Pedológicos

“Os levantamentos de solos para agricultura fornecem subsídios importantes ao estudos Geotécnicos.” Na Pedologia, “os solos são identificados de acordo com perfis constituídos por diferentes horizontes. Os horizontes mais superficiais “A” e “B”, designados horizontes pedogenéticos, são mais evoluídos. A seguir vem o horizonte “C”, designado, pelos geotécnicos como horizonte saprolítico, solo saprolítico ou solo residual jovem. Na seqüência, (...) a Rocha Alterada - camada “RA” e depois a Rocha sã” - camada R.

A descrição de um *perfil de solo* é bem detalhada, contendo: classificação, unidade de mapeamento, localização, situação e declividade, altitude, litologia e formação geológica, material originário, relevo regional, erosão, drenagem, presença de matacos, vegetação primária, uso do solo. Apresenta *descrição morfológica* de cada horizonte quanto a cor, textura, estrutura, porosidade, consistência e transição entre horizontes.

Na *análise física e química* de cada horizonte aparece a granulometria de cada horizonte e outros dados importantes, como o grau de floculação (percentagem de argila dispersa em água em relação ao argila total), que quanto maior seu valor, mais estáveis serão os agregados dos solos.

“Isso tem implicações geotécnicas importantes. Na engenharia geotécnica, os sistemas de classificação utilizam o teor de argila determinado com o uso do hexametafosfato de sódio como agente dispersante e classificam como de má qualidade os solos com elevado teor de argila. Na prática, (...), muitos desses solos apresentam bom comportamento quando compactados. Isso acontece porque no processo de compactação os microagregados, que constituem a estrutura desses solos, se mantêm estáveis e funcionam como se fossem partículas de tamanho maior.”

“Outro dado que tem relação importante com comportamento geotécnico é o valor T ou CTC (...) que indica a atividade da argila e tem relação com a expansão do solo.” Solos com CTC superior a 24me/100g da fração que passa na peneira 40 (0,42mm) são expansivos e classificados como

de atividade alta (Ta). Caso contrário são ditos de atividade baixa (Tb). Para geotecnia, ainda que um dado mais qualitativo do que quantitativo. Devemos fazer ensaios de expansão e estabelecer correlações entre valores de CTC e os valores de expansão admitidos nas especificações para finalidades geotécnicas.”

Também, apresentam *análises mineralógicas*, que “tem por objetivo a identificação e determinação quantitativa dos componentes mineralógicos das areias e frações mais grosseiras do solo”. Nesta análise, é indicado para os horizontes a percentagem de mica muscovita, bem como de outros minerais.

2.4.3 Estudos Geomorfológicos

“Para um geotécnico, implantar qualquer tipo de obra de engenharia onde seja necessário cortar o pé de um talude com (...) irregularidades (microrrelevos), com certeza provocará escorregamento da encosta”.

Há casos que se pode observar um talude em corte com “maior erodibilidade na parte mais baixa do mesmo. Normalmente, no horizonte C dos solos, os processos de argilização, ainda incipientes, não forneceram o desenvolvimento de coesão o que facilita a atuação dos agentes de erosão. No horizonte B, os processos de argilização, mais intensos, são responsáveis pela coesão que mantém o solo exposto sem nenhum processo erosivo. No entanto, a continuidade da erosão da parte inferior do talude poderá provocar o escorregamento do mesmo. A proteção do horizonte C ou a elevação do greide da rodovia para evitar a exposição desse horizonte seriam medidas efetivas para evitar os processos erosão, escorregamento e assoreamento.”

Litologia sedimentares como Arenito, de elevada susceptibilidade à erosão, aconselha-se a construção de mais drenos e calhas para o escoamento das águas superficiais. “O poder erosivo à água somado à erodibilidade do solo, geralmente em consequência da baixa coesão, produzem problemas de soluções difíceis e onerosas.”

2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL

Fernandes (1999), da Divisão de Geociências - DIGEO/SUL do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) atualizou os mapas temáticos de geologia, geomorfologia e pedologia da

Ilha de São Francisco do Sul, através de foto-interpretação e verificação de campo. Na sequência são descritos sucintamente as caracterizações geológica, geomorfológica e pedológica.

2.5.1 Caracterização Geológica

Os estudos geológicos forneceram dados para conhecimento da natureza e composição das rochas, ocorrências minerais e compartimentação estrutural que deram origem ao relevo, às formações superficiais e aos solos. Esses estudos forneceram as bases para a compartimentação morfoestrutural e foram efetuados a partir da interpretação das imagens de radar dos trabalhos existentes sobre a área e de controle de campo.(FERNANDES, 1999).

De acordo com Kaul (1977²⁶), (Apud Fernandes, 1999), regionalmente a Ilha de São Francisco do Sul se insere no contexto do Cinturão Móvel Paranaguá, que se estende ao leste paranaense e extremo sul do Estado de São Paulo. Tal unidade geotectônica corresponde na sua quase totalidade, a um conjunto de rochas ígneas, formado por uma grande variedade de granitóides em geral deformados (foliados).

A Ilha de São Francisco do Sul é constituída principalmente por rochas granitóides de idade Proterozóica Superior e sedimentos resultantes das deposições marinhas, eólicas e aluviais pertencentes ao Quaternário.(FERNANDES, 1999).

Segundo Siga Jr. (1995²⁷), (Apud Fernandes, 1999), o conjunto de litologia do referido Cinturão são denominadas de Complexo Paranaguá, constituído principalmente por rochas granitóides leucocráticos, de cor cinza claro a cinza rosado, de granulação fina a média, e que apresentam uma foliação cataclástica (quebra) incipiente. São constituídos principalmente por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, anfibólios e/ou biotita (mica preta), muitas vezes transformado em clorita e epidoto. Como minerais acessórios tem-se principalmente apatita, titanita, zircão e opacos.

Assim, a área em estudo, apresenta *Rochas Granitóides* de idade Proterozóica Superior, sendo que a maior parte desta área é formada por *Sedimentos Quaternários*. Na Figura 2.20 é ilustrado

²⁶ Kaul, P.F.T. (1977). *O Magnetismo na Serra do Mar e adjacências (Sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos*. São Paulo: USP/ INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Tese de Doutorado.

²⁷ Siga Jr. (1995). *Domínios Tectônicos do Subeste do Paraná e Nordeste de Santa Catarina. Geocronologia e Evolução Crustal*. USP/INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. 212p. Tese de Doutorado.

o Mapa Litológico da Ilha de São Francisco do Sul, produzido no IBGE/DIGEO-SUL, e na Figura 2.21 é ilustrado o Mapa Geológico da Ilha de São Francisco do Sul, onde são verificadas sete unidades litoestratigráficas sedimentares: aluvionares, colúvio-aluvionares, arenosos de origem eólicas, flúvio-lagunares, marinhos, argilo-síltico-arenosos e marinhos atuais, descritas abaixo:

a) Sedimentos Aluvionares – QHa

Constituída principalmente por areias quartzosas, cascalheiras e sedimentos síltico-argilosos, inconsolidados, depositados em planícies de inundação, terraços e calhas de rede fluvial atual.

b) Sedimentos Colúvio-Aluvionares – QHca

Constituída principalmente por material gravitacional de encosta, formando depósitos de colúvio-elúvio e aluviões recentes de sedimentos inconsolidados, com grande variação granulométrica, incluindo depósitos areno-argilosos e areno-síltico argilosos, com estratificação incipiente ou ausente.

c) Sedimentos Arenosos de Origem Eólicas – QHe

Constituída de sedimentos eólicos, representado por dunas fixas ou móveis, atuais e subatuais de areias finas e médias, quartzosas, bem arredondadas e bem selecionadas, com tonalidades esbranquiçada, exibindo raras laminações plano-paralelas ou cruzadas de alto ângulo. Esses sedimentos foram observados principalmente ao longo da costa leste da Ilha, na localidade de Praia Grande.

d) Sedimentos Flúvio-Lagunares – QHfl

Esses sedimentos compõem-se de material argilo-arenoso, inconsolidados, mal selecionados, comumente ricos em matéria orgânica favorecendo a formação de depósitos turfáceos.

e) Sedimentos Marinhos – QHm

Constituído por areias quartzosas, finas a médias, bem selecionadas, com laminações plano-paralelas e cruzadas que podem se truncar mutuamente. Apresentam cores claras em tons de creme e amarelada, individualizados cronologicamente em atuais (QHm2) e subatuais (QHm1), depositados em planícies de marés e feixes de restingas.

f) Sedimentos Argilo-Síltico-Arenosos – QHmg

Sedimentos flúvio-lagunares, constituídos principalmente de material argilo-arenoso, inconsolidados, mal selecionados, ricos em matéria orgânica, depositados em ambientes caracterizados pela influência das marés e são típicos dos mangues atuais.

g) Sedimentos Marinhos Atuais – QHmp

Constituída principalmente por cordões de areais quartzosas bem selecionadas de cores claras, cremes e amareladas, que constituem nos sedimentos das praias atuais.

Predominam na Ilha os sedimentos Marinhos Recentes (QHm1) de maior extensão (quase toda Ilha), seguido dos sedimentos Marinhos Antigos (QHm2) em menor extensão situado nas localidades das Praias (Praia Grande, Itaguaçu, Forte, Capri e à margem direita da rodovia Duque de Caxias SC 301, sentido à praia de Ubatuba, em área rural).

Os sedimentos Argilo-Síltico-Arenosos (QHmg), denominado de ambiente de mangue, localizam-se desde o Paulas até ao Capri, no canal do linguado e em outras áreas menores distribuídas pela Ilha, próximas ao mar.

Os sedimentos Aluvionares (QHa) denominado de Aluviões e, os sedimentos Colúvio-aluviones (QHca) denominado de Colúvios, encontram-se nos perímetros das ocorrências das rochas granitóides.

Os sedimentos fluvio-lagunares (QHfl) situam-se em maior área ao final do Rio Acarai.

Os sedimentos Marinhos Atuais (QHmp), denominados de Praias, constituem as praias atuais das localidades Praia Grande, Prainha, Enseada, Ubatuba, Itaguaçu, Forte e Capri.

Os sedimentos de Arenosos de origem Eólicas (QHe), denominados de Dunas situam-se na Praia Grande.

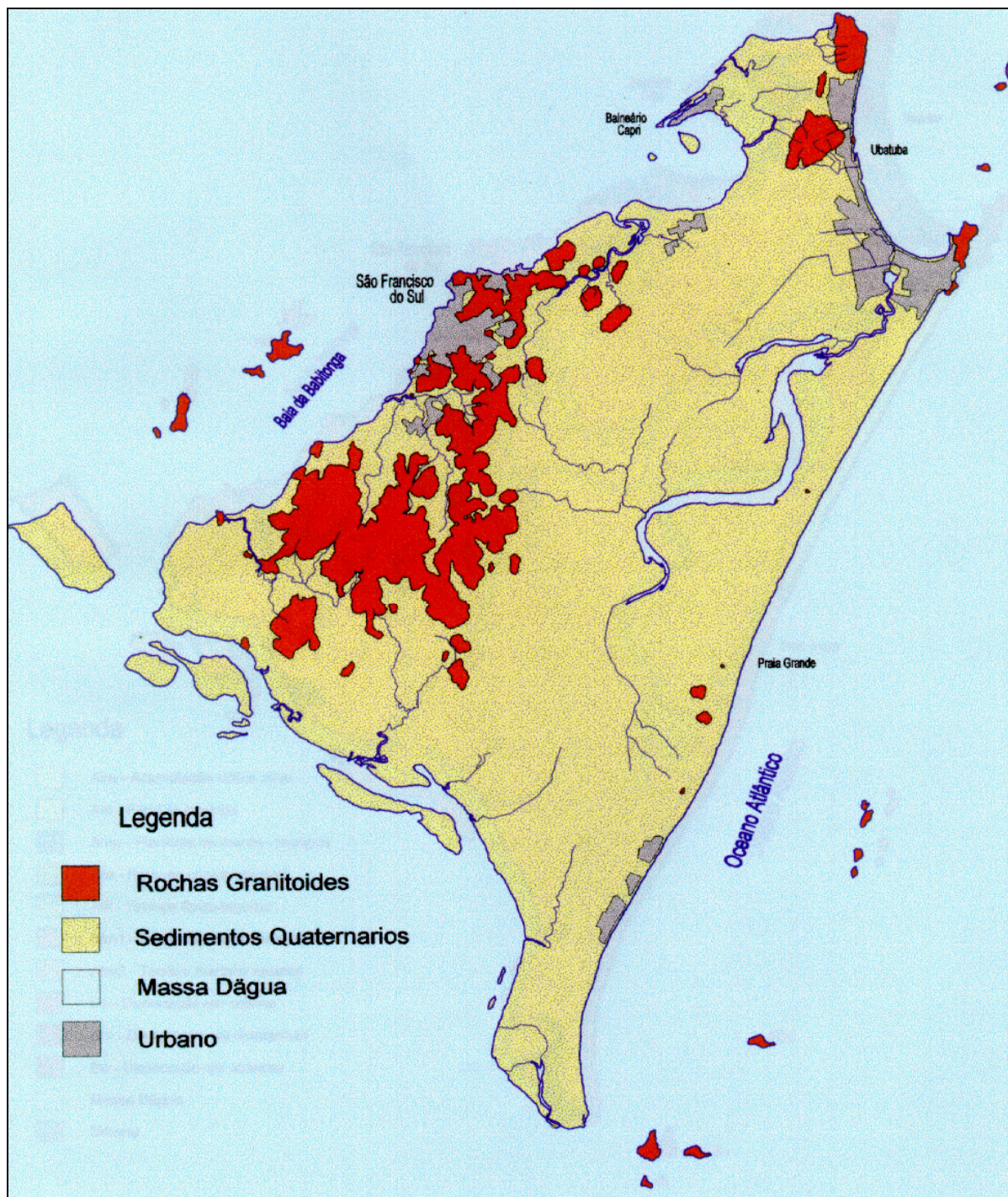


Figura 2.20: Mapa Litológico da Ilha de São Francisco do Sul – Editado por Fernandes, 1999.

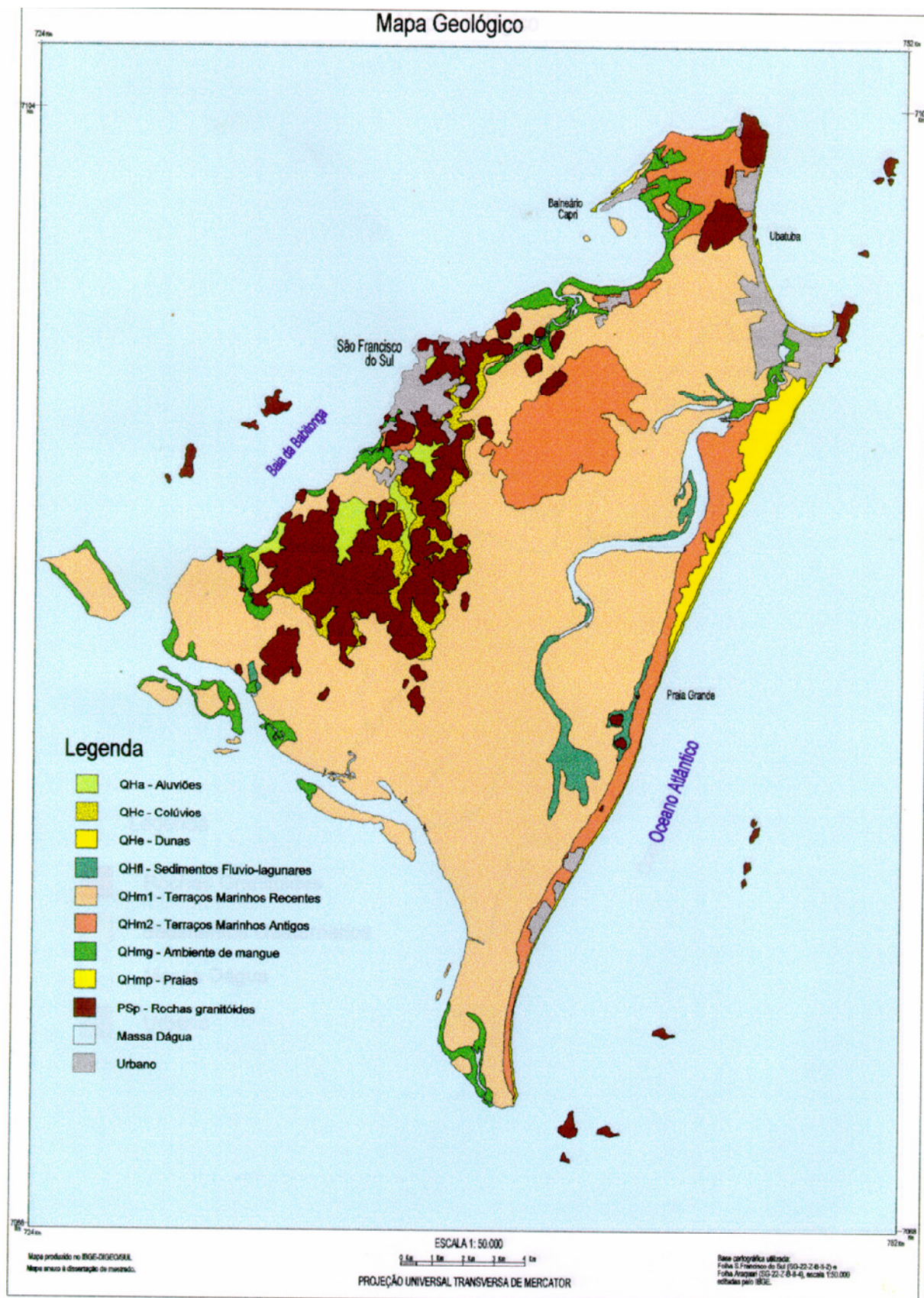


Figura 2.21: Mapa Geológico da Ilha de São Francisco do Sul – Editado por Fernandes,1999.

2.5.2 Caracterização Pedológica

As principais características das classes de solos com ocorrência significativa na Ilha de São Francisco do Sul são apresentadas por Fernandes (1999).

Mantêm-se, nos textos da pesquisa a denominação anterior da classe dos solos, pois sua transformação para a nova denominação requer estudos específicos e tempo de estudo. Deve-se salientar que a partir de 1999, entrou em vigor a nova taxitomia das classes de solos, editada pela EMBRAPA e que a partir de então, deverão ser convertidas para o novo SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS.

A Figura 2.22 ilustra o Mapa Pedológico, com as classes de solos da Ilha. Para fins da pavimentação, esse mapa permite programar as etapas de campo (descrição morfológica e coleta de solos para ensaio de laboratório), podendo-se identificar as Unidades Pedológicas mais representativas e de interesse para estudo.

É verificado em toda a Ilha de São Francisco do Sul, várias Unidades Pedológicas, e dentre essas, predominam as Unidades de Podzol (P) e Cambissolo (C).

A ocorrência da Unidade Pedológica de Podzol é a de maior extensão na Ilha, sendo esta não hidromórfica (NH) ou hidromórfica. No mapa, o Podzol não hidromórfico é identificado pelos símbolos P1, P2, P3, P4 e, localiza-se na região central da Ilha, com uma extensão que vai da Praia de Ubatuba ao Canal do Linguado. No contorno deste, encontra-se o Podzol Hidromórfico, identificado pelo símbolo de HP, sendo a sua maior área localizada ao Leste da Ilha e, em outros pontos de menores áreas, distribuídos ao redor da Ilha.

A Unidade Pedológica de Cambissolo é identificada no mapa pelos símbolos de Ca1, Ca2, Ca3 (a: álico) e Cd1 e Cd2 (d: distrófico), sendo a maior área localizada na região Oeste da Ilha. Também, encontram-se áreas menores distribuídas ao redor da Ilha ou como ilhas isoladas.

Há, também, ocorrências de outras Unidades Pedológicas de menores áreas na Ilha, como por exemplo: Solos Orgânicos álicos (HOa) situados principalmente ao longo do Rio Acarai; Areias Quartzosas Marinhas álicas (AMa1, AMa2, AMa3) situados na Costa Leste da Ilha e Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico (PVL) na região Nordeste. Esses solos, juntamente com o

Podzol Hidromórfico, por ocorrerem em menores áreas, não serão caracterizados na pesquisa. A Figura 2.22 ilustra o Mapa Pedológico da Ilha de São Francisco do Sul.

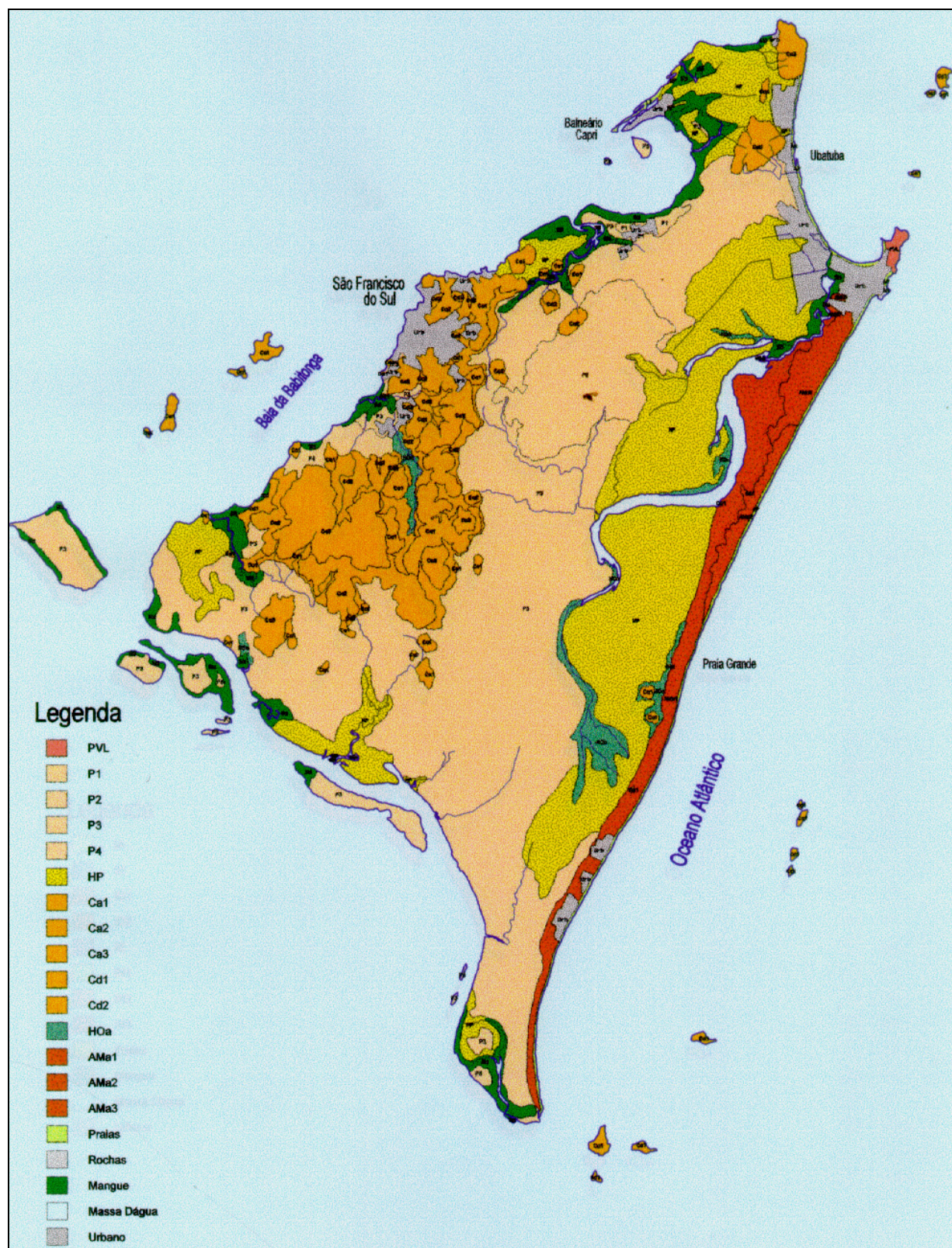


Figura 2.22: Mapa Pedológico da Ilha de São Francisco do Sul – Editado por Fernandes, 1999.

2.5.2.1 Descrição da Legenda dos Solos Identificados no Mapa Pedológico – Unidades Pedológicas.(FERNANDES, 1999)

PVL: Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico, A moderado, textura muito argilosa a argilosa, relevo ondulado. Inclusão de Cambissolo álico, Tb, A moderado, textura argilosa a muito argilosa;

P1: Podzol álico, A moderado, textura arenosa, relevo plano;

P2: Podzol álico, A moderado, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado;

P3: Podzol álico, A moderado, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado + Podzol hidromórfico, A moderado a proeminente, textura arenosa, relevo plano (inclusão de solos orgânicos, textura indiscriminada);

P4: Podzol álico, A moderado, textura arenosa + Areias Quartzosas Marinhas álicas, A moderado, relevo plano a suave ondulado;

HP: Podzol Hidromórfico álico, A moderado a proeminente, textura arenosa + Areias Quartzosas Marinhas Hidromórficas álicas, A moderado, relevo plano (inclusão de Solos Orgânicos álicos textura argilosa a siltosa);

Ca1: Cambissolo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa, relevo ondulado;

Ca2: Cambissolo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico Tb, Ta, A moderado, textura média/argilosa, relevo forte ondulado;

Ca3: Cambissolo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico Tb, Ta, A moderado, textura média/argilosa, relevo montanhoso;

Cd1: Cambissolo distrófico álico, Tb, A moderado, textura argilosa + Gleissolo distrófico, álico Tb, A moderado a proeminente, textura argilosa, relevo plano;

Cd2: Cambissolo distrófico álico, Tb, A moderado, textura argilosa, relevo plano a suave ondulado + Gleissolo distrófico, álico Tb, A moderado a proeminente, textura argilosa, relevo plano;

HOa: Solos Orgânicos álicos, textura argilosa a siltosa, relevo plano;

AM1: Areias Quartzosas Marinhas álicas, A moderado, relevo suave ondulado a plano;

AM2: Areias Quartzosas Marinhas álicas, A moderado, relevo suave ondulado; e,

AM3: Areias Quartzosas Marinhas álicas, A moderado, relevo ondulado.

Tipo de Terrenos: no mapa pedológico são identificados os terrenos de (AP) Areias de Praias Atuais e (SM) Solos Indiscriminados de Mangue.

2.5.3 Caracterização Geomorfológica

Segundo Fernandes (1999), os estudos geomorfológicos foram conduzidos para a análise da gênese e das formas do relevo e dos processos morfogenéticos. Distinguiram-se dois tipos genéticos de modelados: dissecação (D) e acumulação (A). Os modelados de dissecação foram analisados de acordo com a forma, a declividade das vertentes e a altimetria. Os modelados de acumulação foram separados em planícies e terraços e, classificados de acordo com o ambiente deposicional/sedimentar.

No âmbito da geomorfologia, a Ilha apresenta: o Domínio Morfoestrutural dos Sedimentos Quaternários, o Domínio Geomorfológico da pré-Serra do Mar e, modelados de dissecação e acumulação.

2.6 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

Em se tratando de pavimentação de vias, os “cortes ou aterros, ao serem projetados, ficam limitados a alturas compatíveis à quantidade e posição das construções existentes, bem como à grande incidência de canalizações subterrâneas em cotas próximas à superfície do terreno. (...) Por essa razão, surge a necessidade de se determinar a capacidade de suporte de subleito nas condições naturais. Esse problema é tecnicamente contornado através de extrações de amostras

indeformadas do subleito, com as quais são feitas determinação do índice de suporte califórnia (ISC)”.(MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 1995).

Estudos mostram “que as condições de clima e solos tropicais determinam uma abordagem diferente de dimensionamento de pavimentos. A unidade de equilíbrio dos subleitos, por determinação “in situ” em poços e trincheiras, revelou-se inferior ou igual ao teor ótimo do ensaio de compactação Proctor Normal. Apenas para referência citam-se: Motta & Medina (1989) e Medina (1997)”.(MEDINA E MOTTA, 1997).

2.6.1 Método do DNER/79

2.6.1.1 Informações Gerais

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem de 1979 (DNER/1979) - atual Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT) foi desenvolvido pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza a partir da metodologia do Corpo de Engenheiros do Exército Americano e resultados obtidos na pista experimental da AASHTO – “American Association of State Highway”. No método, o dimensionamento é feito em função do CBR do subleito, dos materiais granulares que compõe o pavimento e do número N - número equivalente de operações do Eixo Simples Padrão (ESP) de 8,2 toneladas (USACE-Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano).

A determinação da resistência do solo de fundação (subleito) e dos materiais constituinte do pavimento é definido pelo CBR em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório nas condições de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, determinadas pelo ensaio da energia Normal e submetidos a embebição durante quatro dias.(MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 1995; PINTO e PREUSSLER, 2001).

O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactadas de acordo com os valores fixados nas Especificações Gerais, recomendando-se que, em nenhum caso, o grau de compactação deve ser inferior a 100%.(PINTO e PREUSSLER, 2001).

2.6.1.2 Tráfego e Número Equivalente

O pavimento é dimensionado em função do Número Equivalente (N) de operações de um Eixo Simples Padrão (ESP) de 8,2 toneladas, durante o período de projeto escolhido e obtido a partir dos estudos de tráfego. Na determinação do N são considerados fatores relacionados com a

composição do tráfego e da categoria de veículos, definida em função da carga transportada e do número de eixos dos veículos.

Embora não seja um consenso entre os projetistas, tem-se a seguinte escala quanto a magnitude do tráfego:

- tráfego Muito Leve $N \leq 10^4$;
- tráfego Leve $N \leq 10^5$;
- tráfego Baixo $N \leq 10^6$

2.6.1.3 Dimensionamento da Estrutura do Pavimento

A equação 2.10 fornece a espessura total do pavimento (Ht) em função do número N e do CBR, definida em termos de material com coeficiente de equivalência estrutural K=1, isto é, de camada granular.

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad \text{equação 2.10}$$

Onde:

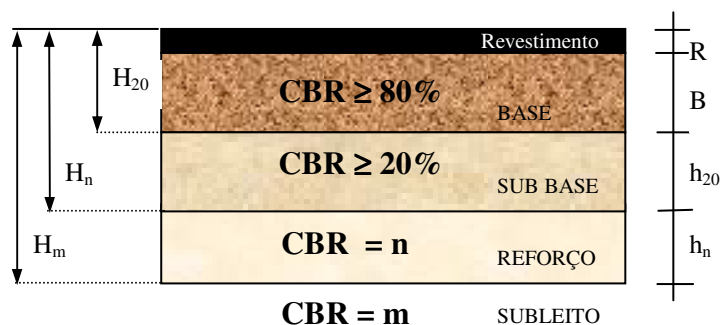
N: número equivalente de operações do Eixo Simples Padrão (ESP) de 8,2 toneladas; e,

CBR: capacidade de suporte do solo em (%).

Supõe-se, sempre, que a drenagem superficial seja adequada e que o lençol d'água subterrâneo tenha sido rebaixado, a pelo menos, 1,50m em relação ao greide de regularização (leito). É essencial que o projeto de drenagem preveja o escoamento da água que percola abaixo do pavimento.

No caso de ocorrência de solo do subleito com CBR inferior a 2%, é sempre preferível substituí-lo numa espessura de pelo menos 60cm por material de CBR maior que 2%. A espessura mínima para camadas granulares é 10cm. A espessura total mínima da camada é 15cm e a espessura máxima para compactação é 20cm.

Esquema da Estrutura do Pavimento:



Onde:

H_m : define a espessura total do pavimento necessária para proteger o material com $CBR = m$;

H_n : espessura da camada para proteger o material com $CBR = n$; e,

H_{20} : espessura da camada para proteger a sub-base com $CBR \geq 20$.

Uma vez determinada as espessuras H_m , H_n e H_{20} pela equação 2.10, as espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e Reforço (h_n) são obtidas pelas resoluções das inequações:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20} \quad (a)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} \geq H_n \quad (b)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} + h_n \times K_{Ref} \geq H_m \quad (c)$$

Onde:

K_R , K_B , K_{SB} e K_{Ref} são os coeficientes estruturais dos materiais das camadas.

Quando CBR da sub-base for maior ou igual a 40 e para $N \leq 10^6$, admite-se substituir na inequação (a) a variável H_{20} por $0,80 \times H_{20}$.

2.6.2 Metodologia da Prefeitura Municipal de São Paulo/1992 – PMSP/92

A metodologia é aplicada em bairros residenciais para tráfego leve – circulação de até 50 caminhões/ônibus/dia por faixa, e para tráfego muito leve – circulação de até 3 caminhões/ônibus/dia por faixa.

Pressupõe uma cuidadosa caracterização geológica do subsolo onde será aplicada a pavimentação para não comprometer a segurança e durabilidade do pavimento.

Este procedimento baseia-se no método de projeto de pavimentos flexíveis do Engenheiro Murilo Lopes de Souza, adotado pelo DNER e nos métodos MD-1 e MD-3T/79 da PMSP.

Consiste de várias etapas de estudos, a saber:

- Estudo Geotécnico do Subleito (reconhecimento preliminar de campo; amostragem; ensaios);
- Classificação dos Tipos de Tráfegos – Tráfego muito leve $N=10^4$ e leve $N=10^5$;
- Considerações sobre o Subleito;
- Estrutura do Pavimento; e,
- Pressupostos do Dimensionamento.

2.6.2.1 Considerações sobre o Subleito

Quanto ao Subleito, são apresentadas algumas considerações:

- Espessura do pavimento é função do CBR ou mini-CBR de acordo com P01. A espessura do pavimento onde haverá substituição do subleito é função do valor de suporte do solo de empréstimo;
- Na determinação do suporte do subleito—ensaio Normal de compactação dos solos—PMSP-ME-7;
- Para vias existentes dotadas de guias e sarjetas, reforço de pavimento antigo ou aproveitamento do leito existente: CBR (imersão por 48 horas) ou mini-CBR (imersão por 12 horas) é feito com amostras indeformadas;
- Se o subleito tiver suporte $< 2\%$, substituir este por solo com Suporte $> 5\%$ e Expansão $< 2\%$ na espessura indicada no projeto; e,
- Se o subleito tiver Expansão $> 2\%$, determinar experimentalmente a sobrecarga necessária para o solo apresentar Expansão $< 2\%$. O peso próprio do pavimento projetado deverá transmitir uma pressão igual ou maior do que a determinada no ensaio.(PMSP, 1992).

2.6.2.2 Espessura Total do Pavimento

A espessura total do pavimento é determinada após a definição do tipo de tráfego e capacidade de resistência do subleito, em termos de material granular, através de um ábaco de dimensionamento, ilustrada na Figura 2.23.

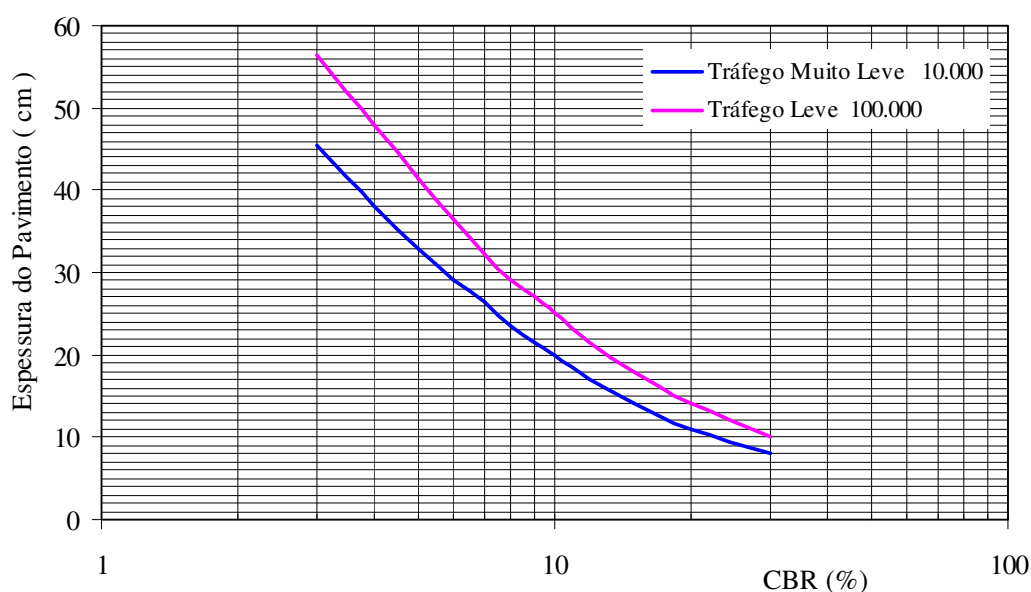


Figura 2.23: Ábaco de dimensionamento da espessura do pavimento para tráfego muito leve (10^4) e leve (10^5) P01- PMSP/1992.

CAPÍTULO III METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa desenvolve-se em 4 Fases, a saber:

FASE 1: SELEÇÃO DO BAIRRO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A Fase 1 foi desenvolvida com as realizações das seguintes etapas:

- Localização das Jazidas de Solos Exploradas no Município e do tipo de Revestimento Primário das Principais Vias Não Pavimentadas;
- Caracterização Geotécnica Preliminar dos Solos das Jazidas e do Revestimento Primário pelo Método das Pastilhas (MP); e,
- Definição de Bairros mais Populosos e com Número Significativo de Vias Não Pavimentadas.

FASE 2: CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI

A Fase 2 foi desenvolvida com as realizações das etapas:

- Seleção dos Solos Representativos da Unidade Pedológica do Bairro Selecionado e Caracterização do Material de Revestimento Primário;
- Caracterização Geotécnica dos Solos;
- Ensaio de Compactação, DCP e CBR dos Solos Representativos; e,
- Avaliação da Influência das Dimensões do Molde nos Resultados DCP.

FASE 3: ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO A PARTIR DO DN

A Fase 3 foi desenvolvida com a realização da etapa:

- Confecção do Ábaco para Definição da Espessura Total do Pavimento.

FASE 4: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A Fase 4 foi desenvolvida com as realizações das etapas:

- Determinação da Resistência e da Umidade dos Perfis de Solo das Vias Não Pavimentadas;
- Definição do DN e da Umidade do Solo de Fundação; e,
- Exemplo de Aplicação da Metodologia na Determinação da Espessura Total do Pavimento.

3.1 FASE 1: SELEÇÃO DO BAIRRO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

3.1.1 Localização das Jazidas de Solos Exploradas no Município e do tipo de Revestimento Primário das Vias Não Pavimentadas

Objetivo:

- a) Localizar as Jazidas de Solos que são exploradas no Município e associá-las às Unidades Pedológicas; e,
- b) Identificar o tipo de Revestimento Primário das principais vias não pavimentadas e associá-las às unidades Pedológicas.

Obter:

Identificar Unidade Pedológica e horizontes, bem como a finalidade do emprego dos materiais de jazidas e, também, identificar Unidade Pedológica e horizonte das vias não pavimentadas.

Procedimento:

Jazidas:

- Visita à Prefeitura Municipal para identificar as jazidas em exploração;
- Percorrer o município e localizar as jazidas;
- Descrição morfológica do material: cor, textura, horizonte, etc.;
- Coletar amostras dos horizontes das jazidas para Classificação Geotécnica Preliminar pelo Método das Pastilhas, obter as coordenadas geográficas UTM (Universal Transverso de Mercator) com GPS (Global Position System) dos pontos amostrados e fotografias digitais; e,
- Plotar no mapa pedológico as coordenadas UTM, designando a unidade pedológica e fazendo a descrição dos pontos amostrados.

Vias Não Pavimentadas:

- Percorrer as vias não pavimentadas do município e identificar o material do revestimento primário;
- Associar o tipo de revestimento primário com a provável jazida de origem (consulta à Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul);
- Coletar amostras das vias (solo de fundação + revestimento primário) para classificação geotécnica pelo Método das Pastilhas, obter as coordenadas geográficas UTM e fotografar;

- Identificar em campo a unidade pedológica e em que horizonte do perfil de solo a via está assente; e,
- Identificar no mapa pedológico os pontos amostrados.

3.1.2 Caracterização Geotécnica Preliminar dos Solos das Jazidas e do Revestimento Primário pelo Método das Pastilhas

Objetivo:

Ter uma visão geral dos tipos de solos predominantes das jazidas exploradas no município e do tipo de revestimento primário empregado.

Obter:

Identificação dos Grupos de Solos de Jazida e Revestimento Primário pelo Método das Pastilhas.

Procedimento:

- Ensaio dos solos de jazidas (horizonte B e C) e do revestimento primário das vias pelo Método das Pastilhas com uso da metodologia MCT (FORTES et al., 2002a) e procedimento proposto por Godoy e Bernucci em 2000; e,
- Classificar os solos de jazidas e do revestimento primário segundo os grupos MCT e os grupos do Guia Identificatório de Solos Tropicais de Godoy e Bernucci (2000).

3.1.3 Definição de Bairros mais Populosos e com Números Significativos de Vias Não Pavimentadas

Objetivo:

Definir um bairro do município onde será conduzida a pesquisa. O bairro selecionado deverá estar em uma das Unidades Pedológicas predominantes do município, apresentar grande população e significativo números de vias não pavimentadas.

Obter:

Definir um bairro para desenvolver a pesquisa em uma das Unidades Pedológicas predominantes.

Procedimento:

- Visita à Prefeitura para obter informação dos bairros mais populosos e condições das vias atuais e possíveis planos de pavimentação; e,
- Percorrer os bairros do município para confirmar as informações e obter subsídios para a seleção do bairro onde será aplicada metodologia.

3.2 FASE 2: CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI

3.2.1 Seleção dos Solos Representativos da Unidade Pedológica do Bairro Selecionado e Caracterização do Material de Revestimento Primário

Objetivo:

Seleção dos tipos de solos onde foram abertas as vias do bairro selecionado, bem como o tipo de revestimento primário destas vias, definindo os solos que deverão ser empregados no ensaio de laboratório e a serem investigados em campo com o DCP.

Obter:

- a) Definição do tipo de solos predominantes na jazida do bairro selecionado;
- b) Definição do tipo de solo predominante do revestimento primário e sua jazida de procedência; e,
- d) Definição do tipo de solo predominante do solo de fundação das vias.

Procedimento:

- Com os dados levantados na Fase 1, percorrer as ruas do bairro e definir a unidade pedológica em que estão assentes as vias, bem como o tipo de revestimento primário;
- Coletar amostras de solo em cortes, jazidas e vias (uso de trado de pequeno diâmetro), tirando as coordenadas geográficas UTM dos pontos amostrados;
- Realizar ensaio de classificação geotécnica de solos pelo Método das Pastilhas, empregando os procedimentos da metodologia MCT e de Godoy e Bernucci (2000);
- Definir os tipos de solos predominantes da jazida representativa do bairro. Destes, escolher os horizontes para a condução das demais etapas; e,
- Definir os tipos de solos predominantes no solo de fundação e revestimento primário das vias.

3.2.2 Caracterização Geotécnica dos Solos

Objetivo:

Caracterização dos solos das jazidas selecionadas através dos ensaios tradicionais: granulometria, limites de consistência e Método das Pastilhas.

Obter:

A classificação dos solos empregando o método tradicional (Classificação USCS e HRB) e pelo Método das Pastilhas.

Procedimento:

- Secar ao ar livre o solo até a umidade higroscópica, misturando todos os pontos amostrados de mesmo grupo de solo e homogeneizar a amostra para realizar os ensaios de laboratório;
- Preparar solos para realizar os seguintes ensaios de laboratório: granulometria com sedimentação, limite de liquidez e plasticidade, densidade real dos grãos e ensaio do Método das Pastilhas; e,
- Fazer a classificação tradicional (USCS e HRB) e comparar com a classificação pelo Método das Pastilhas.

Normas utilizadas:

1. Preparação da Amostra: *NBR 6457/86 – Amostra de Solos – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização*;
2. Granulometria com sedimentação: *NBR 7181/84 – Solo – Análise Granulométrica*;
3. Determinação da massa específica dos grãos dos solos: *NBR 6508/84 – Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica*;
4. Limites de Liquidez: *NBR 6459/84 – Solo Determinação do Limite de Liquidez*;
5. Limite de Plasticidade: *NBR 7180/84 - Solo Determinação do Limite de Plasticidade*;
6. Método das Pastilhas: não está normatizado. Foi seguida Proposta de Normalização feita por Fortes et al. (2002a) e indicações sugeridas em outros artigos referentes ao MP;
7. ASTM D6951-03 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.(Escopo).(disponível em: www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.ext/DATABASAE.CART/REDLINE_PAGES/D6951.htm?E+mystore)

3.2.3 Ensaio de Compactação, DCP e CBR

Objetivo:

Para cada tipo de solo (uma amostra), determinar as Curvas de Compactação nas energias Normal (N), Intermediária (I) e Modificada (M). Para cada ponto da curva de compactação, determinar o valor de DN na condição não saturada e o valor de CBR na condição saturada.

Obter:

Obter peso específico aparente seco, umidade de moldagem, resistências DN, CBR e Expansão para cada ponto das curvas de compactações nas energias aplicadas.

Procedimento:

- Determinar a curva de compactação, o valor de DN e umidade de moldagem para cada corpo-de-prova (CP) moldado nas 3 energias de compactação de cada tipo de solo;
- Definir a umidade ótima e o peso específico aparente seco para as 3 energias; e
- Compactar novos CPs e determinar CBR e expansão. Estes CPs serão moldados para as mesmas energias, quantidades de solos e de água utilizada na moldagem dos CPs do ensaio DCP.

Com os Resultados de Compactação e DCP:

- Traçar as curvas de compactação nas 3 energias e definir umidade ótima e peso específico aparente seco máximo;
- Obter a relação DN versus Umidade de Moldagem por regressão simples linear, aplicando os critérios estatísticos para as 3 energias; e,
- Obter a relação DN versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco por regressão múltipla e aplicar os critérios estatísticos para verificar a contribuição de cada variável independente na definição de DN.

Com os Resultados de Compactação e CBR:

- Obter a relação CBR versus Umidade de Moldagem por regressão simples linear, aplicando os critérios estatísticos para as 3 energias;
- Obter a relação CBR versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco por regressão múltipla e aplicar os critérios estatísticos para verificar a contribuição de cada variável independente na definição de DN; e,
- Obter a relação CBR x DN, modelo log-log, para as mesmas condições de umidade de moldagem dos CPs.

A Figura 3.1 representa esquematicamente as curvas de compactação de um Solo em 3 energias de compactação.

3.2.4 Avaliação da Influência das Dimensões do Molde nos Resultados DCP

Objetivo:

Verificar a influência das dimensões do molde (tamanho do cilindro: diâmetro de 480mm e altura de 400mm) nos resultados de DN e a repetibilidade do valor de DN para cada amostra de solo do bairro selecionado. Os ensaios serão conduzidos sem imersão, para caracterizar a situação de campo em que se determina o DN, nas três energias de compactação.

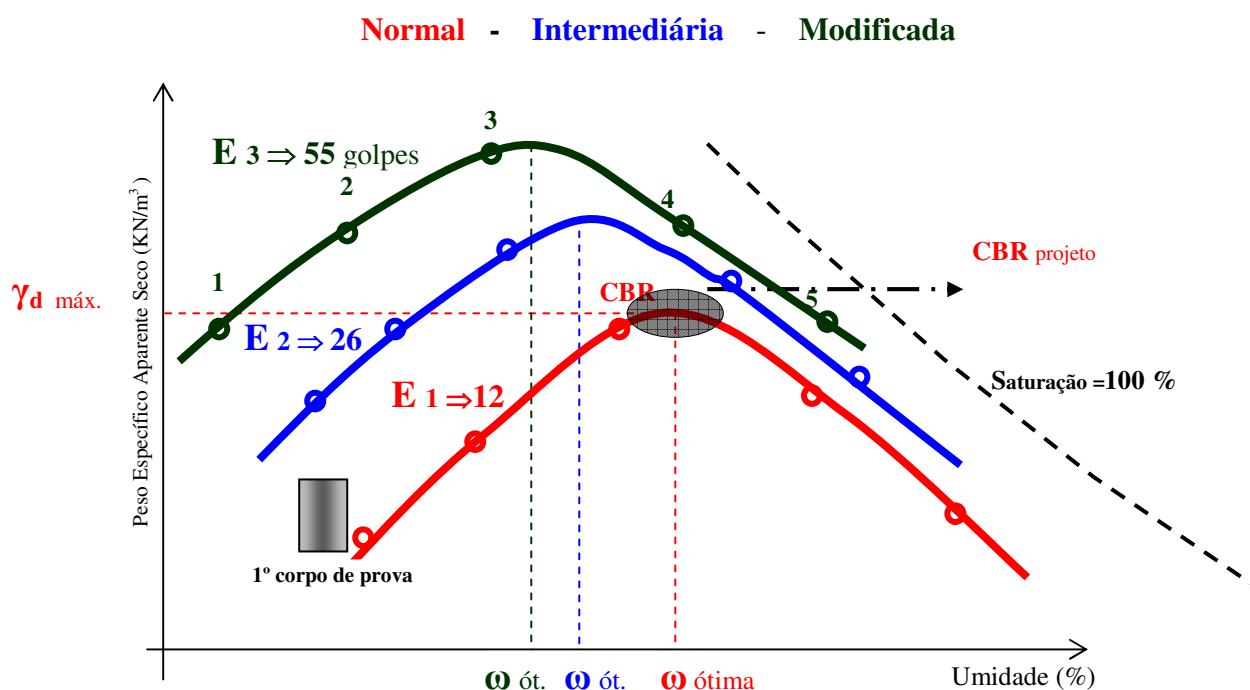


Figura 3.1: Curva de compactação em três níveis de energia de uma amostra.

Obter:

Os valores de DN no cilindro Grande e verificar repetibilidade de DN em cada CP através do Coeficiente de Variação (CV). Com os valores de DN's e de umidades, obter a relação DN x umidade por regressão linear simples e seus critérios.

Procedimento:

Para cada tipo de solo:

- Moldar CP com diâmetro de 480mm de diâmetro (molde de 480mm diâmetro por 400mm de altura), empregando o soquete de 4,5kg para compactar as camadas, e finalizar a compactação com o emprego de uma prensa de 300 toneladas, aplicando-se

uma carga para comprimir uma massa de solo previamente estimada. Na moldagem do CP, empregam-se dois discos de madeira (princípio de forma deslizante), de modo que o CP e os discos de madeira fiquem prensados no cilindro, permitindo reproduzir a mesma densidade dos CPs do cilindro CBR. Os CPs serão moldados nas umidades de 2 pontos percentuais (2p.p.) abaixo da umidade ótima, na umidade ótima e 3p.p. acima da umidade ótima aproximadamente;

- Obtido o CP, fazer ensaio de DCP em meia seção do mesmo, empregando um gabarito com 11 furos e na outra metade da seção fazer ensaio de DCP aleatórios; e,
- Determinar a umidade de moldagem no CP na posição 5cm abaixo do topo, no centro e 5cm acima do fundo do mesmo.

Serão empregados dois tipos de solo (os horizontes B e C) do bairro selecionado, sendo moldados 9 CPs de cada solo, perfazendo num total de 18 CPs.

3.3 FASE 3: ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO A PARTIR DO DN

Nesta fase serão desenvolvidos os ábacos para o dimensionamento da espessura total do pavimento a partir do conhecimento do DN.

Objetivo:

Definição da espessura total necessária para proteger a camada de reforço e/ou o solo de fundação. Serão utilizadas as Curvas de dimensionamento da Prefeitura Municipal de São Paulo/92 e do DNER/79.

Obter:

A espessura total do pavimento para o DN de campo (camada de reforço e/ou subleito) através de ábaco gerado em função do tipo de solo, DN e do Número equivalente de operações do Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas ($N_{ESP8,2t}$)

Procedimento:

- a) Desenvolvimento do ábaco para o horizonte B e C da Unidade Pedológica do bairro em estudo:
 - Definição da Espessura do pavimento será obtida empregando a fórmula:

$$Ht = 77,67 N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad \text{equação 3.1}$$

do Método do DNER/79 para um tráfego até 10^6 , bem como, pelas curvas de espessura total da Prefeitura Municipal de São Paulo para os tráfegos de 10^4 e 10^5 ;

- Definido a relação CBR x DN segundo o modelo $\log \text{CBR} = A + B \log \text{DN}$ para cada tipo de solo (horizonte B e C) da Unidade Pedológica do bairro em estudo, substituir CBR na equação de Ht. Assim, a espessura do pavimento será dada pela fórmula:

$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times (10^{A+B \log \text{DN}})^{-0,598} \quad \text{equação 3.2}$$

Onde:

Ht: espessura do pavimento (cm);

N: n°. equivalente de operações do Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas (tráfego); e,

DN: índice de penetração do DCP de campo (mm/golpe).

b) Determinação da espessura do pavimento:

- Conhecer o DN de campo (revestimento primário e/ou solo de fundação);
- Conhecer o valor de $N_{\text{ESP8,2t}}$ na área em estudo; e,
- Entrar no ábaco correspondente à Unidade Pedológica em análise (verificar o horizonte de assentamento da via) com o DN, vai até a curva de $N_{\text{ESP8,2t}}$, obtendo-se o valor de espessura do pavimento.

3.4 FASE 4: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

3.4.1 Determinação da Resistência e da Umidade dos Perfis de Solo das Vias Não Pavimentadas

Objetivo:

- a) Definição Resistência (DN) e Umidade correspondente às espessuras identificadas na curva DCP dos perfis, fazendo-se ensaio de DCP “in situ” em seções transversais das vias não pavimentadas espaçadas a cada 50 – 100m. Os pontos investigados com o DCP são preferencialmente as Trilhas de Rodas Externas Esquerda e Direita e Eixo da pista;
- b) Traçar a Curva DCP e o diagrama de umidade “in situ” para definir a resistência do solo de fundação e umidade na seção.

Obter:

Definir o DN do solo de fundação das vias não pavimentadas para as condições de umidade de campo, bem como conhecer as espessuras das camadas de cada ponto investigado. Também, obter amostras do perfil de solo para determinação da umidade nas diversas profundidades e identificar o tipo do horizonte (B ou C) com a profundidade.

Procedimento:

- Selecionar visualmente, os trechos de vias que apresentam o mesmo tipo de solo do material de jazida. Tirar previamente, a coordenada geográfica UTM em cada seção de investigação com o DCP. Marcar em mapa o local da seção (endereços de casas, número de poste ou outra referência de identificação);
- Fazer três ensaios de DCP na transversal da vias (TR-LD, Eixo, TR-LE), com espaçamento entre seção de 50 - 100m;
- Para cada ensaio de DCP na seção transversal, coletar amostras no perfil de solo para a determinação da umidade (3 a 5 umidades) e armazená-las em cápsulas de alumínio com tampa. Colocar estas cápsulas em um caixa de isopor adequada para determinação da umidade no laboratório. Ao final da jornada do serviço de campo, em laboratório, pesar as cápsulas com tampa e a amostra de solo e secá-las em estufa a 105 – 110°C; e,
- Traçar a Curva DCP e Diagrama de Umidade de cada ponto investigado.

3.4.2 Definição de DN e da Umidade do Solo de Fundação

Objetivo:

- a) Definição do valor DN (solo de fundação) e da umidade “in situ”, a partir da análise dos pontos investigados, adotando-se um critério para definir o valor de DN e Umidade “in situ” da seção investigada; e,
- b) Definição do critério para analisar os valores de DN e umidade “in situ” empregando a curva de regressão DN x umidade do solo em análise; e,
- c) Definição do DN do solo de fundação, aplicando-se critérios estatísticos para dimensionar o pavimento.

Obter:

- a) O DN do solo de fundação para dimensionar a espessura total do pavimento (Ht) no trecho investigado, aplicando-se critérios estatísticos para determinar o limite inferior e superior da média da população; e,

b) A resistência do solo de fundação deve variar entre 3 a 7% da resistência CBR e para regularização ou reforço entre 7 a 20%.

3.4.3 Exemplo de Aplicação da Metodologia na Determinação da Espessura Total do Pavimento

Objetivo:

Exemplificar a metodologia desenvolvida para uma via do bairro em estudo.

O Quadro 3.1 apresenta de forma sintética os objetivos e resultados a serem alcançados nas 4 fases da pesquisa.

Quadro 3.1: Síntese das fases da pesquisa: objetivos e resultados pretendidos.

METODOLOGIA DA PESQUISA			
	FASE 1 Visão Geral da Ilha		
	Tema	Objetivo	Obter
	Localização das Jazidas de Solos Exploradas no Município e do tipo de Revest. Prim. das Vias não pavimentadas.	Jazidas de solo ► Unidade Pedológica; Revest. Primário ► Unidade Pedológica.	Jazidas ► horizontes e seu emprego.
	Caracterização Geotécnica Preliminar dos Solos das Jazidas e do Revest. Prim. Pelo Método das Pastilhas.	Visão Geral ► Tipo de Solo predominante das Jazidas exploradas e do Revestimento Primário.	Método das Pastilhas ► Identificação dos Grupos de Solos.
	Definição de Bairros mais Populosos e com n°. signif. de Vias Não Pavimentadas onde será aplicada a metodologia.	1 Bairro pesquisado ► na Unid. Geot. Predominante ► populoso e maior n°. vias não pavimentadas.	Definir 1 Bairro em 1 Unidade Geotécnica predominante.
	FASE 2 Estudo do Bairro Selecionado		
	Seleção do Solos Representativos da Unidade Pedológica do Bairro Selecionado e Caracterização do Material de Revestimento Primário.	Seleção da Jazidas; definição da Unid. Pedológica das vias; tipo de revestimento primário desta via. Definir solos a empregar nos ensaios de laboratório e investigado no campo c/ DCP.	Definição pelo MP: ► tipo de solo predominante da jazida no bairro; ► tipo de solo do revestimento e jazida procedente; ► tipo de solo de fundação.
	Caracterização Geotécnica dos solos.	Caracterização Geotécnica Tradicional ► Granulometria e Limites de Consistência.	Obter Classificação USCS e HRB.
	Ensaio de Compactação, DCP e CBR nas Energias Normal, Intermediária e Modificada.	Curva de Compactação + Umidade ótima e PEASmáx.; resistência DN; resistência CBR + expansão.	Relação DNxUmidade; DNx (umidade,PEAS); CBRxUmidade; CBRx (Umidade,PEAS); CBR x DN.
	Avaliação da Influência das Dimensões do Molde nos resultados DCP.	Verificação da influência das dimensões do molde nos resultados DN e repetibilidade.	Obter DN em cilindro Grande e coeficiente de variação de DN.
	FASE 3 Ábaco		
	Ábaco para Dimensionamento da Espessura Total do Pavimento.	Definição da espessura total necessária para proteger a camada de reforço e/ou o solo de fundação.	Obter diretamente o Ht para o DN de campo (reforço e subleito): Ábaco em função (tipo de solo, DN e tráfego).
	FASE 4 Aplicação da Metodologia		
	Determinação da Resistência e da Umidade dos Perfis de Solo das Vias não pavimentadas.	Definir DN e Umidade nas seções transversais a cada 50m a partir das curvas DCP e diagrama de umidade.	Definir Resistência nas condições de umidade de campo e espessuras correspondentes.
	Definição do DN para dimensionamento da espessura total do Pavimento.	Definição DN do solo fundação. Critério de análise de DN.	DN para dimensionar a espessura do pavimento.
	Exemplo de Aplicação da Metodologia.		

CAPÍTULO IV SELEÇÃO DO BAIRRO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

4.1 LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE SOLOS EXPLORADAS NO MUNICÍPIO




Através de visitas à Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul, foi possível identificar as jazidas em exploração. Posteriormente, percorreu-se toda a Ilha, localizando as jazidas e, também, verificando o tipo de revestimento primário empregado nas vias não pavimentadas da região. Utilizou-se um GPS de navegação, de precisão de 4 a 5m para a localização das jazidas e vias não pavimentadas.

De cada jazida identificada e localizada em campo, foram determinadas as coordenadas geográficas UTM em alguns pontos de seu perímetro e dos locais amostrados dos horizontes B e C, fazendo-se de maneira expedita a descrição morfológica do solo, quanto a cor, textura e horizonte.

Em laboratório foi realizado ensaio pelo Método das Pastilhas (MP) com as amostras coletada nesta etapa, o qual permitiu classificação geotécnica preliminar, identificando os grupos de solos e sua granulometria.

Com relação às vias não pavimentadas da região, procurou-se identificar em qual Unidade Pedológica estão assentes, obtendo-se as coordenadas geográficas UTM e, também, identificar de maneira expedita o horizonte de assentamento destas vias.

As Figuras 4.1 a 4.7 apresentam os pontos amostrados no mapa pedológico das Unidades Pedológicas Predominantes Ca – Cambissolo e P - Podzol, onde estão localizadas as jazidas exploradas e as principais vias não pavimentadas. Os pontos quadrados em cores rosa, vermelho e azul são coordenadas geográficas UTM com os seguintes significados:

-  Ponto rosa: via não pavimentada;
-  Ponto vermelho: Nas jazidas (J) - amostras coletadas no horizonte B e/ou nas vias; e,
-  Ponto azul: Nas jazidas (J) - amostras coletadas no horizonte C.

Nas Figuras 4.1 a 4.7, as linhas tracejadas em vermelho representam as principais vias não pavimentadas do município, exceto a via que contorna o Morro do Ubatuba até ao Morro João Judas que está pavimentada.

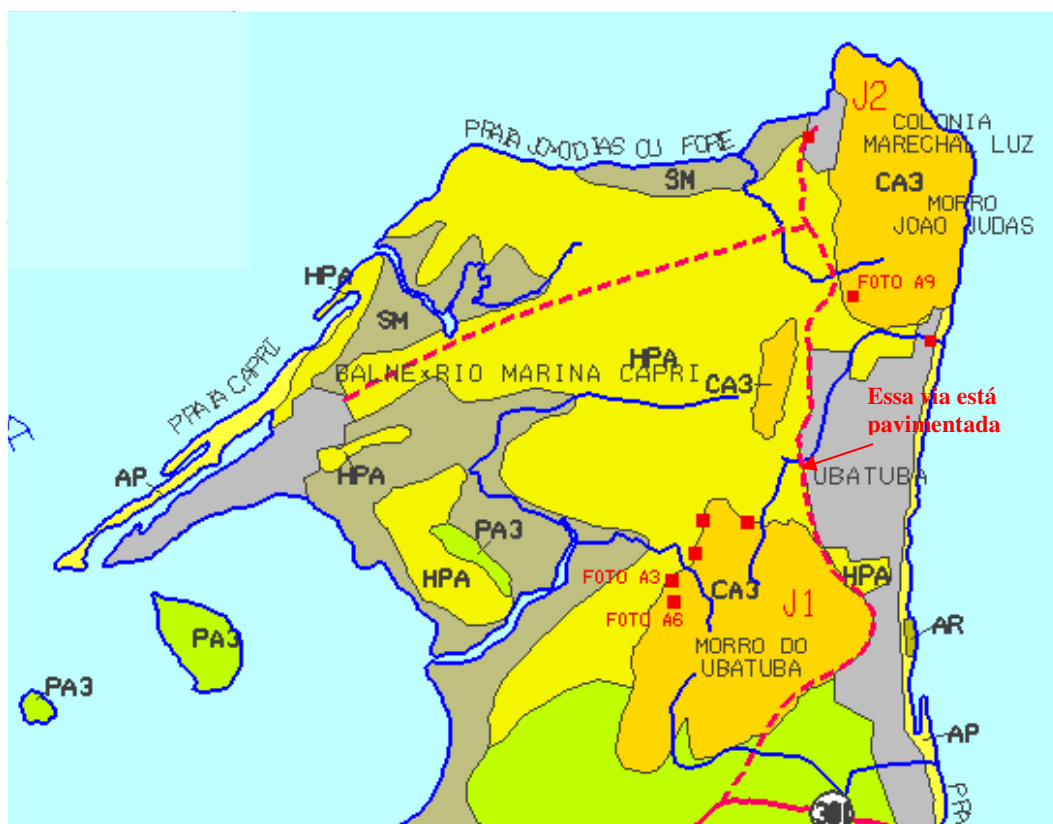


Figura 4.1: Jazida J1 (Ca3) Cambissolo Morro do Ubatuba e Jazida J2 (Ca3) Morro João Judas.

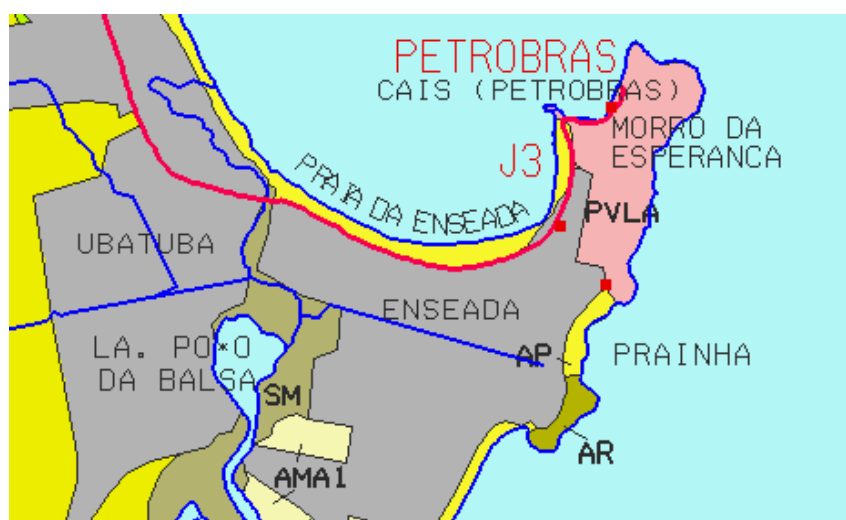


Figura 4.2: Jazida J3 (PVL_a) Podzólico Vermelho-Amarelo - Morro da Esperança na Praia da Enseada.

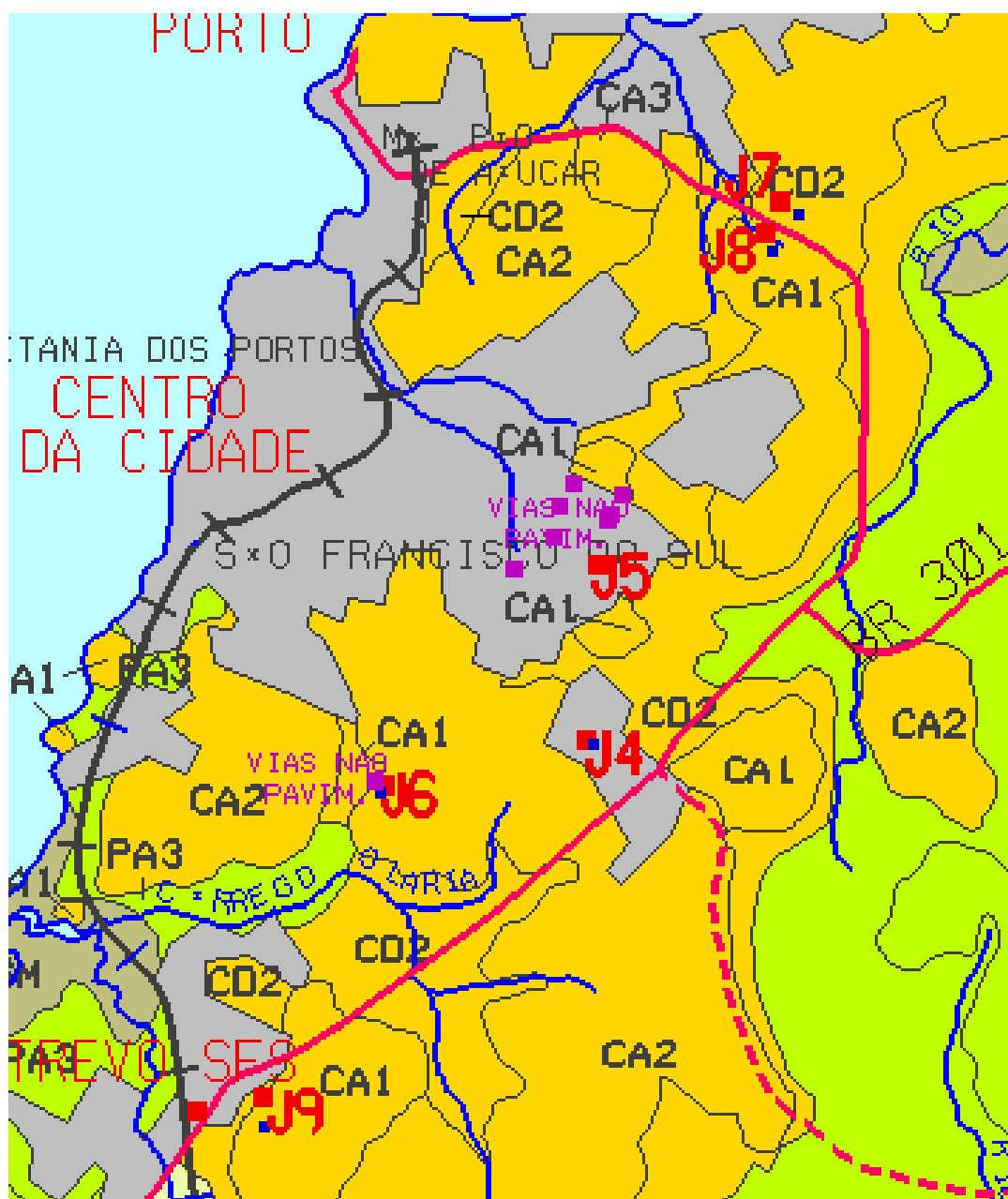


Figura 4.3: Jazidas J4 (Cd2), J5 (Ca1), J6 (Ca1), J7 (Cd2), J8 (Ca1) e J9 (Ca1) Cambissolo em São Francisco do Sul.



Figura 4.4: Jazida J10 (Ca3 e Ca2) Cambissolo - Morro da Laranjeira.



Figura 4.5: Jazida J11 (Ca2) Cambissolo - Morro da Palha.

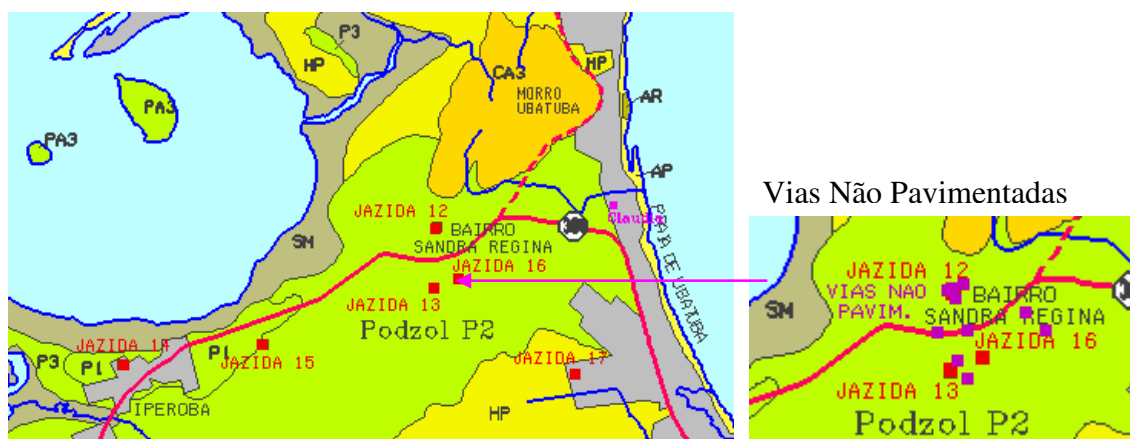


Figura 4.6: Jazidas J12, J13, J14, J15, J16 e J17 – Podzol (P1 e P2) e Podzol Hidromórfico (HP) e pontos de vias não pavimentadas.



Figura 4.7: Jazida J18 (P3) Podzol na Gamboa e pontos das vias não pavimentadas em (P3) e Areias Marinhas (Am).

As Figuras 4.8 a 4.30 mostram fotos das jazidas identificadas no Mapa Pedológico. As Figuras 4.8 e 4.9 ilustram a Jazida J1.

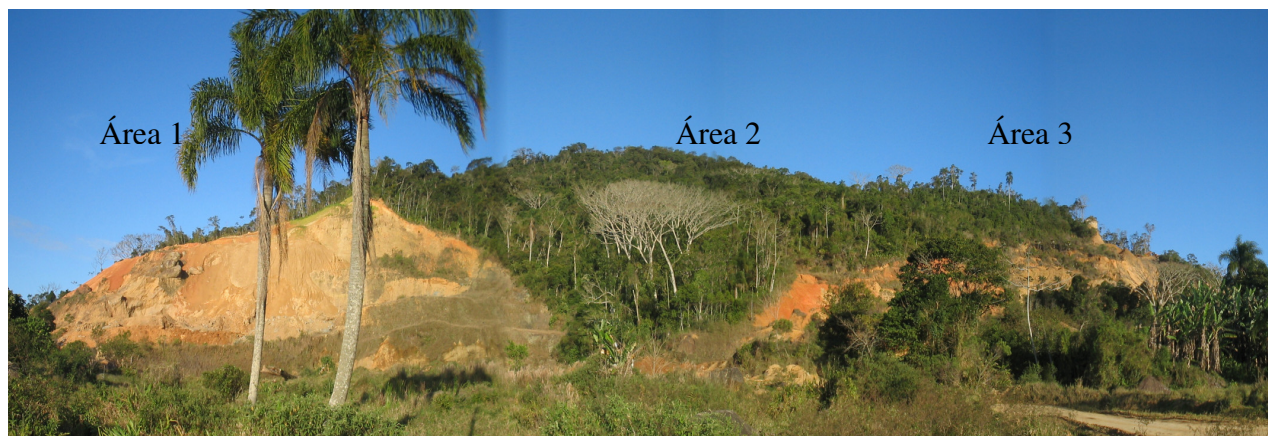


Figura 4.8: Jazida J1- Morro do Ubatuba, Praia do Ubatuba, três áreas abertas para extração de saibro em Unidade Pedológica de Cambissolo (Ca3).



Figura 4.9: Vista parcial de J1(Ca3); áreas de extração de saibro com blocos de rochas (área 1).

A área desta jazida está identificada no mapa Pedológico como Ca3 - Cambissolo álico distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico, Tb, Ta, A Moderado, textura média/argilosa, relevo montanhoso. Predominam nestas áreas, o horizonte C, solo saprolítico, resultante da decomposição e/ou desagregação “in situ” da rocha, mantendo ainda, de maneira nítida, a estrutura das rochas granitóides, sendo este solo denominado de “saibro”. Este material é facilmente desagregado, apresentado diversas frações granulométricas. O horizonte C, saibro, foi empregado pela Prefeitura Municipal no ensaibramento das vias não pavimentadas. Também, é muito empregado como material de aterro (residencial/comercial), sub-base de revestimentos pré-moldados ou paralelepípedo. Nestas áreas, são encontrados grandes volumes de rochas granitóides, de cor cinza clara. Também, verifica-se que o horizonte B é pouco desenvolvido, apresentando pequenas espessuras na área 1, sendo inexistente na maior

parte das áreas exploradas. Foram coletadas amostras da área 1, em horizonte B e C, para ensaio do Método das Pastilhas.

As Figuras 4.10 a 4.12 ilustram a Jazida J2 na Praia do Forte. Esta área está identificada no mapa Pedológico como Cambissolo Ca3 (mesmo do anterior), de relevo montanhoso, apresenta em seu perfil, uma grande espessura de horizonte C, solo saprolítico, de origem das rochas granitóides. Verifica-se no local, um horizonte B-C. Nas Figuras 4.11 e 4.12 verificou-se a heterogeneidade do horizonte C de cores vermelhas a marrom-amarelas.

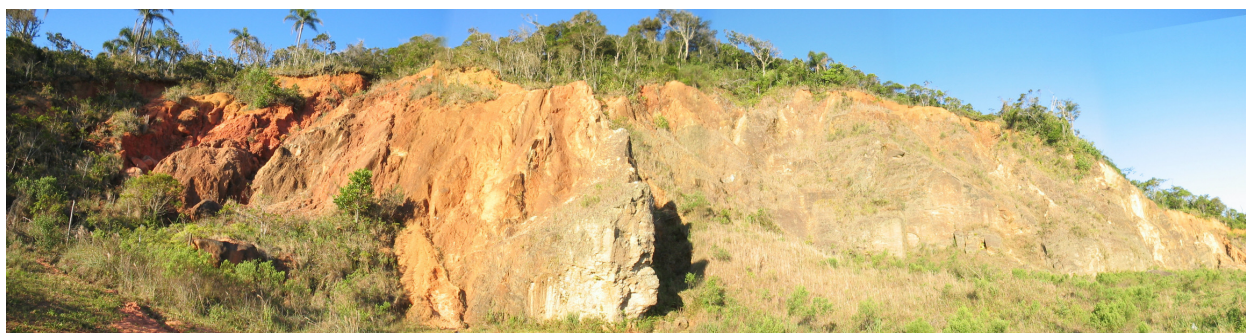


Figura 4.10: Jazida J2 (Ca3) Morro João Judas – Praia do Forte, em Unidade Pedológica de Cambissolo.

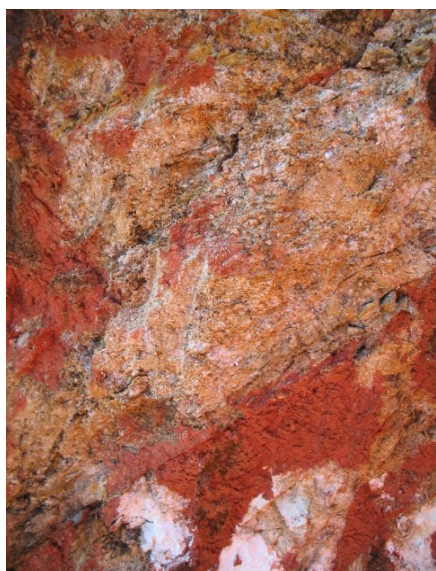


Figura 4.11: Horizonte C, textura e cor variadas.



Figura 4.12: Horizonte C, cor marrom, textura arenoso.

A Figura 4.13 ilustra a Jazida J3 localizada na Praia da Enseada. Esta área está identificada no mapa Pedológico como PVLa - Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico, A moderado, textura muito argilosa a argilosa, relevo ondulado, com inclusão de Cambissolo álico, Tb, A moderado, textura argilosa a muito argilosa. Percorrendo o perímetro do morro, observam-se grandes volumes de rochas granitóides de cores cinza.



Figura 4.13: Jazida J3 (PVLa) Morro da Esperança na Praia da Enseada com presença de rocha granitóides visíveis.

A Figura 4.14 ilustra a Jazida J4 na cidade da São Francisco do Sul. Esta área foi identificada no mapa Pedológico como Ca2: Cambissolo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico, Tb, Ta, A Moderado, textura média/argilosa – relevo forte ondulado. Localizado no bairro Jardim Acarai, verificam-se na jazida, presença de horizontes A, B e C. O horizonte B, cor vermelha, textura argilosa, apresenta pequena espessura, verificando a presença de grãos de quartzo neste horizonte. O horizonte C, de grande espessura, cor heterogênea, roxa clara, apresenta as feições da rocha granitóides e textura areno-siltosa.



Figura 4.14: Jazida J4 (Ca2) morro no bairro Jardim Acarai – Cambissolo.

A Figura 4.15 ilustra a Jazida J5 na cidade de São Francisco do Sul. Esta área está identificada no mapa Pedológico como Ca1- Cambissolo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico, Tb, Ta, A Moderado, textura argilosa – relevo ondulado. Localizado no bairro Jardim Acarai, apresenta horizonte B, cor marrom, textura argilosa, com espessura variando em torno de 1,5 a 2,0m. A transição é difusa entre o horizonte B e C. O horizonte C, cor roxa, siltoso, apresenta grande espessura.

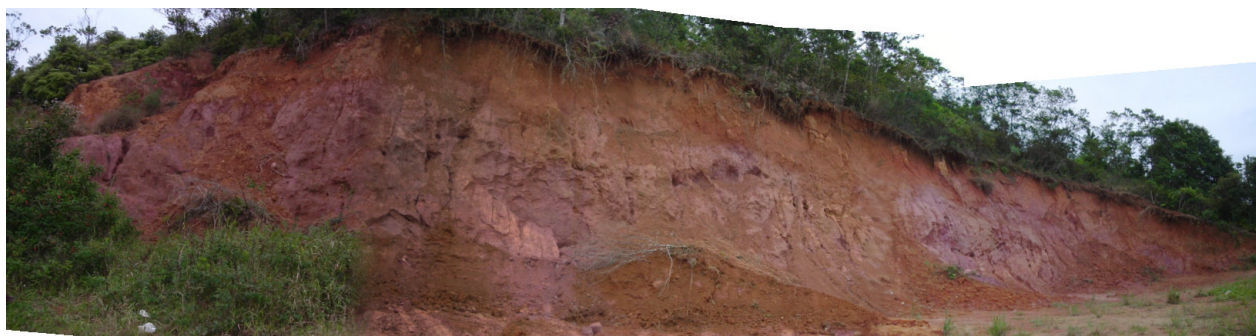


Figura 4.15: Jazida J5 (Ca1) outro morro no Jardim Acarai – Cambissolo.

A Figura 4.16 ilustra a Jazida J6 em São Francisco do Sul. Esta área está identificada no mapa Pedológico como Ca1, de mesma definição da Figura 4.15. Localiza-se no bairro Água Branca, apresenta horizonte B, cor marrom, argiloso, com partículas de quartzo e de pequena espessura. O horizonte C, cor roxa, areno-siltosa, com partículas de quartzo, apresenta grande espessura. Encontra-se na jazida, manchas de caulim (cor branca, argilosa).



Figura 4.16: Jazida J6 (Ca1) no bairro Água Branca – Cambissolo.

A Figura 4.17 ilustra a Jazida J7, também, em São Francisco do Sul. Esta área está identificada no mapa Pedológico como Cd2 - Cambissolo distrófico álico, Tb, A moderado, textura argilosa, relevo plano a suave ondulado + Gleissolo distrófico, álico Tb, A Moderado, textura argilosa, relevo plano. Localizada no Bairro Paulas, na SC 280. Apresenta horizonte B, cor marrom, argiloso, com presença de partículas de quartzo e de pequena espessura. O horizonte B-C, cor avermelhada, argilosa, apresenta partículas de quartzo e presença visível de mica. O horizonte C, cor roxa, siltosa, com presença de mica, possui grandes espessuras. Foi verificado na base desta jazida, um horizonte C, cor amarelo claro, textura arenosa, tipo “saibro”.



Figura 4.17: Jazida J7 (Cd2) no bairro Paulas – Cambissolo.

A Figura 4.18 ilustra a Jazida J8, situada em frente a Jazida J7, localizado no bairro Rocío Pequeno, SC 280. Identificado no mapa Pedológico como Ca1: Cambissolo álico, distrófico Tb, A moderado, textura argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico, distrófico, Tb, Ta, A Moderado, textura argilosa – relevo ondulado. Apresenta um horizonte B, de pequena espessura. O horizonte C apresenta várias cores e verifica-se neste horizonte, a presença de pequenos volumes de rocha granitóide.



Figura 4.18: Jazida J8 (Ca1) no bairro Rocio Pequeno - Cambissolo.

A Jazida J9, localiza-se no bairro Morro Grande em São Francisco do Sul. Essa, também, é identificada no mapa Pedológico como Ca1. Apresenta horizonte B, cor marrom, argiloso de pequena espessura e horizonte C de cor roxa com grande espessura com as características (minerais) da rocha granitóide.



Figura 4.19: Jazida J9 (Ca1) no bairro Morro Grande - Cambissolo com horizonte C.

Figura 4.20 mostra uma visão parcial da Jazida J10 – Morro da Laranjeira. Esse morro está identificado no mapa como Ca3, já definido anteriormente, de relevo montanhoso e apresenta ao seu redor morros de altitudes menores, identificados como Ca2, Ca1, Cd1, Cd2. A Figura 4.20 mostra as feições destas montanhas, morros e/ou colinas.



Figura 4.20: Vista parcial da Jazida J10 (Ca3) Morro da Laranjeira – Cambissolo.

A Figura 4.21 ilustra um pequeno corte de morro, na beira da Estrada da Laranjeira, onde se verifica um horizonte B, de textura argilosa e cor marrom.



Figura 4.21: Estrada da Laranjeira (Ca2) Cambissolo, corte em horizonte B.

A Figura 4.22 ilustra a Jazida J11 localizada próxima a SC 301, em área industrial, situada no contorno do Morro da Palha. Esta área está identificada no mapa Pedológico como Ca1, de relevo ondulado. O horizonte B, de cor marrom, argiloso, apresenta pequena espessura variando de 0,8 a 1,0m. No horizonte C, de cor avermelhada, argilo-siltoso, há presença de mica, sendo este de grande espessura.



Figura 4.22: Jazida J11 (Ca1) vista parcial do Morro da Palha – Cambissolo.

A Figura 4.23 ilustra a Jazida J12 localizada no bairro Sandra Regina. Esta área está identificada no mapa Pedológico como P2, Podzol álico, A moderado, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado e não hidromórfico. Apresenta um horizonte A, cinza. O horizonte Bs é cor ferrugínea, sendo bem visível a diferenciação de horizontes.



Figura 4.23: Jazida J12 (P2) no bairro Sandra Regina, textura arenosa de cor ferrugínea.

A Figura 4.24 ilustra um corte de uma escavação num lote no bairro Sandra Regina próximo às vias não pavimentadas e a 150m da SC 301, na unidade Pedológica Podzol (P2). Este corte mostra um perfil característico de Podzol, com horizonte E alábico (esbranquecido) seguido de um horizonte Bh (enegrecido). Acima do horizonte E, verificou-se no local, a colocação de aterro de “saibro”.

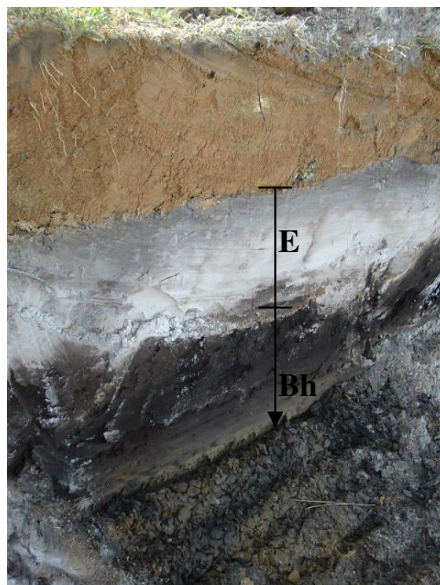


Figura 4.24: Podzol (P2), horizonte E alábico seguido de um horizonte Bh enegrecido.

A Figura 4.25 ilustra a Jazida J13, um corte de um terreno próximo a uma área residencial, localizado a 150m da rua Simão Piaç, no bairro Sandra Regina. Este local está identificado no mapa Pedológico como P2, Podzol não hidromórfico, apresenta horizonte E alábico (esbranquiçado), seguido por um horizonte Bh de cor escura ou enegrecida.



Figura 4.25: Jazida J13 (P2) Podzol textura arenosa, cor ferrugínea, Praia do Ubatuba.

A Figura 4.26 ilustra a Jazida J14 no bairro Iperóba, próxima à SC 301. Este local está identificado no mapa Pedológico como P1, Podzol álico, A moderado, textura arenosa, relevo plano, não hidromórfico e apresenta um horizonte Bs de cor ferrugíneo.



Figura 4.26: Jazida J14 (P1) Podzol, no bairro Iperóba, textura arenosa de cor ferrugínea.

As Figuras 4.27 e 4.28 ilustram a Jazida J15 localizada em área particular a 100m da SC 301, sendo identificada como P2 - Podzol não hidromórfico. Apresenta relevo plano, sendo o solo superficial de cor esbranquiçada, arenoso e consistência solta e na vala escavada um horizonte Bs, textura arenosa de cor ferrugínea.



Figura 4.27 : Jazida J15 Podzol (limite de P1 e P2).
vista geral de areia branca e solta – Iperóba.



Figura 4.28: Vala da Figura
4.27 ao lado.

A Figura 4.29 ilustra a Jazida J16 na rua Ana Mônica, bairro Sandra Regina, sendo identificada como P2 Podzol não hidromórfico, relevo plano e horizonte Bs ferrugíneo.



Figura 4.29: Jazida J16 (P2) Podzol na rua Ana Mônica – bairro Sandra Regina.

A Figura 4.30 ilustra a Jazida J17, localizada na rua Bom Retiro, Praia de Ubatuba em área urbana, sendo está identificada no mapa Pedológico como HP - Podzol hidromórfico álico, A moderado a proeminente, textura arenosa + Areais Quartzosas Marinhas Hidromórficas álicas, A moderado, relevo plano (inclusão de Solos Orgânicos álicos, textura argilosa a siltosa). Tem horizonte Bs, de cor ferrugínea, textura arenosa, estando o nível d'água a aproximadamente 1,5m da superfície da via não pavimentada.



Figura 4.30: Jazida J17 (HP) Podzol Hidromórfico, rua Bom Retiro - Praia de Ubatuba.

4.2 PRINCIPAIS VIAS NÃO PAVIMENTADAS

As vias não pavimentadas na região da Praia do Ubatuba (Bairro Sandra Regina, Ubatuba e demais localidades dos balneários) são de revestimento primário de “saibro”, proveniente da Jazida J1 do Ubatuba, solo saprolítico, horizonte C, sendo o controle de ensaibramento feito pela Secretaria de Obra da Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul – Intendência de Ubatuba. As Figuras de 4.31 a 4.46 mostram algumas vias não pavimentadas nos bairros Sandra Regina, Água Branca, Jardim Acarai, localidade de Laranjeira, Gamboa e em outras regiões. Essas vias situam-se em Unidade Pedológica de Cambissolo, Podzol hidromórfico ou não e, Areias Marinhas.

A Figura 4.31 ilustra a rua Ana Mônica no bairro Sandra Regina revestida com saibro e, a Figura 4.32 mostra um corte da Unidade Pedológica Podzol onde está assente essa via.



Figura 4.31: Rua Ana Mônica, revestimento primário de saibro em P2, Sandra Regina.



Figura 4.32: Rua Ana Mônica em (P2), vista da Figura 4.31, solo arenoso cor ferrúgineo.

As Figuras 4.33 e 4.34 ilustram a rua 16 e um corte desta via, respectivamente, em Unidade Pedológica Podzol Não Hidromórfico (P2) no bairro Sandra Regina.



Figura 4.33: Rua 16, revestimento primário de saibro em Podzol (P2) NH.



Figura 4.34: Seção transversal, Rua 16, Podzol (P2), textura arenosa de cor amarela.

As Figuras 4.35 e 4.36 mostram duas vias com revestimento primário de saibro assente em na Unidade Pedológica Podzol, no bairro Sandra Regina.



Figura 4.35: Rua 304, revestimento primário de saibro sobre Podzol NH (P2).



Figura 4.36: Rua 302 com revestimento primário de saibro, Podzol NH(P2), textura arenosa cor ferrugínea.

A Figura 4.37 mostra uma via não pavimentada com revestimento de saibro, em área urbana, na Unidade Pedológica Cambissolo de relevo montanhoso (Ca3).



Figura 4.37: Rua João Amarante, revestimento primário de saibro de pequena espessura em horizonte B (Ca3).

A Figura 4.38 ilustra vias não pavimentadas no bairro Água Branca, em São Francisco do Sul, assente na Unidade Pedológica Cambissolo (Ca1).

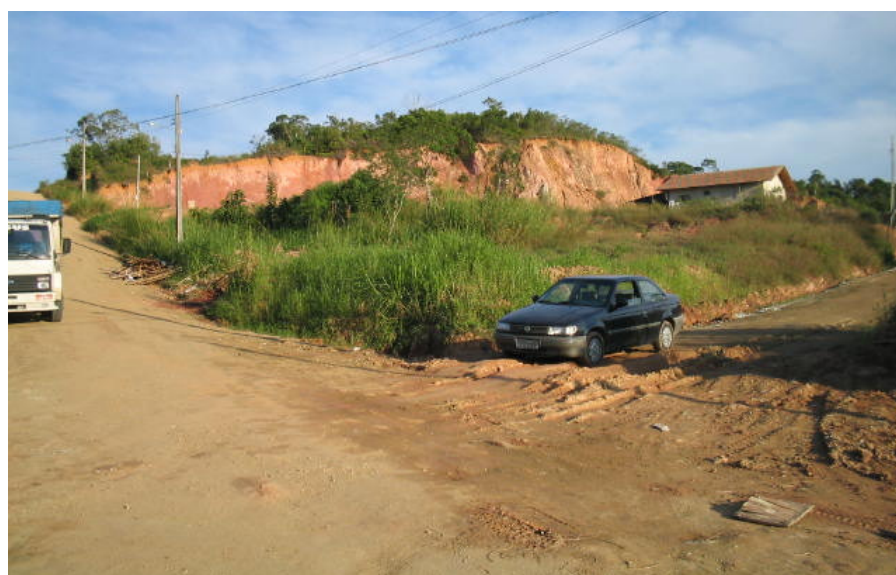


Figura 4.38: Rua com revestimento primário de saibro em horizonte C (Ca1) no bairro Água Branca.

As Figuras 4.39 e 4.40 ilustram duas vias não pavimentadas do bairro Jardim Acarai, em Unidade Pedológica Cambissolo (Ca1), com revestimento em saibro.



Figura 4.39: Rua Vicente S. de Oliveira, revestimento primário de saibro em Cambissolo.



Figura 4.40: Rua Ângelo Brehn, revestimento primário de saibro sobre horizonte C.

A Figura 4.41 ilustra uma via não pavimentada com uma camada delgada de saibro assente no alto da Jazida J5, bairro Jardim Acarai. Na lateral, observa-se os cortes de barranco em horizonte B de Cambissolo.



Figura 4.41: Rua Franklin de Oliveira, fina camada de revestimento primário de saibro, alto da Jazida J5.

A Figura 4.42 ilustra uma via assente na Unidade Pedológica Areia Marinha, no Iperobá. Foi feito uma pequena escavação com uma pá manual (furo 15cm de profundidade) no centro da via e verificou-se a presença de conchas de frutos do mar.



Figura 4.42: Rua Francisco Mascarenhas sem revestimento primário, em Unidade Pedológica de Areia Marinha.

As Figuras 4.43 e 4.44 ilustram duas vias sem revestimento primário assentes na Unidade Pedológica Cambissolo (Ca1), horizonte B, no bairro Jardim Acarai, num dia de tempo bom e num dia chuvoso, respectivamente.



Figura 4.43: Rua Franklim de Oliveira sem revestimento primário, num dia de tempo bom.



Figura 4.44: Rua Fabrício Maia Moreira sem revestimento primário, num dia de chuva.

As Figuras 4.45 e 4.46 mostram a Estrada da Laranjeira, não pavimentada e de revestimento primário de saibro.



Figura 4.45: Revestimento primário de saibro sobre Unidade Pedológica de Podzol.



Figura 4.46: Via sobre Unidade Pedológica Ca2, horizonte B, textura argilosa, praticamente sem saibro.

4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PRELIMINAR DOS SOLOS DAS JAZIDAS E DO REVESTIMENTO PRIMÁRIO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS

A Figura 4.47 ilustra a seqüência do ensaio do Método das Pastilhas (MP) pelo procedimento MCT, para classificação Geotécnica dos Solos Tropicais.

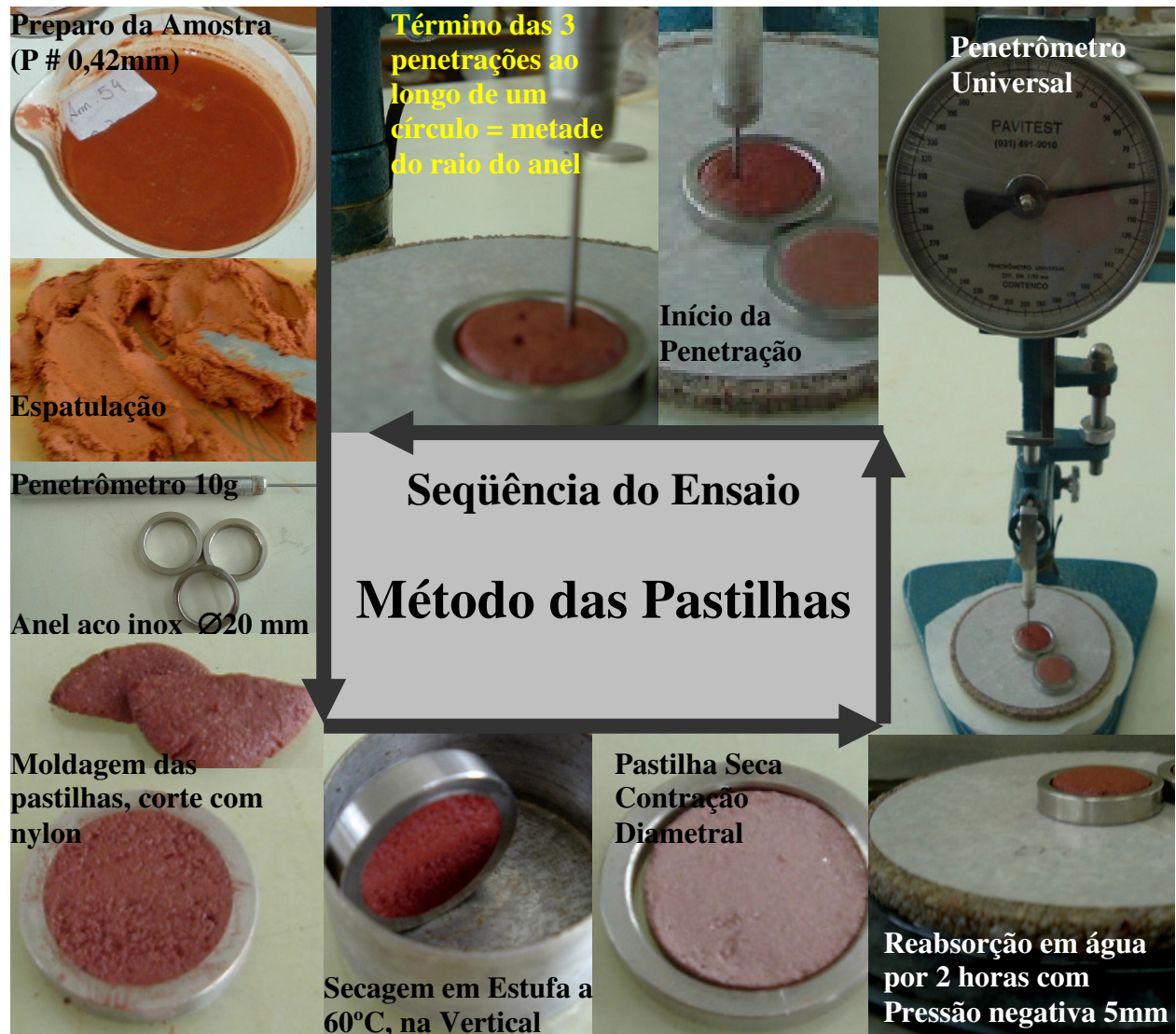


Figura 4.47: Seqüência do ensaio MP pelo procedimento MCT.

A seqüência do ensaio é a seguinte: secar o solo até a umidade higroscópica, destorroar, passar nas peneiras nº.10 (# 2mm) e nº.40 (# 0,42mm). Do material passante na # 0,42mm, utilizar \cong 50 gramas de solo (para o procedimento MCT), colocando-o em uma recipiente com água destilada por, no mínimo, 8 horas. Após esse tempo, espatular energeticamente \cong 100 vezes para solos arenosos e argilosos não laterítico e, \cong 400 vezes para solo arenoso e argiloso laterítico até obter

uma pasta de solo com uma umidade de moldagem, verificada pela penetração, de 1mm do penetrômetro agulha de 10 gramas.(FORTES e MERIGHI, 2003).

Segundo Glaci Trevisan Santos (comunicação pessoal, 2005), para realizar o ensaio MP, “ 90% do material granular deve passar no #10, caso contrário, o Método das Pastilhas pode não funcionar. Não dá para extrapolar resultados para percentagem menores de finos.”

A moldagem da pastilha é feita da seguinte maneira: com a pasta de solo, fazer um bola de aproximadamente 1cm de diâmetro e colocá-la dentro do anel de aço inox de 20mm de diâmetro por 5mm da altura, pressionando com o dedo para preencher o anel. O excesso de solo é cortado com fio de nylon fino. Finalizada a confecção anel+pasta, colocar o conjunto em estufa a 60°C na posição vertical por 6 horas ou deixar secar ao tempo por mais de 12 horas.

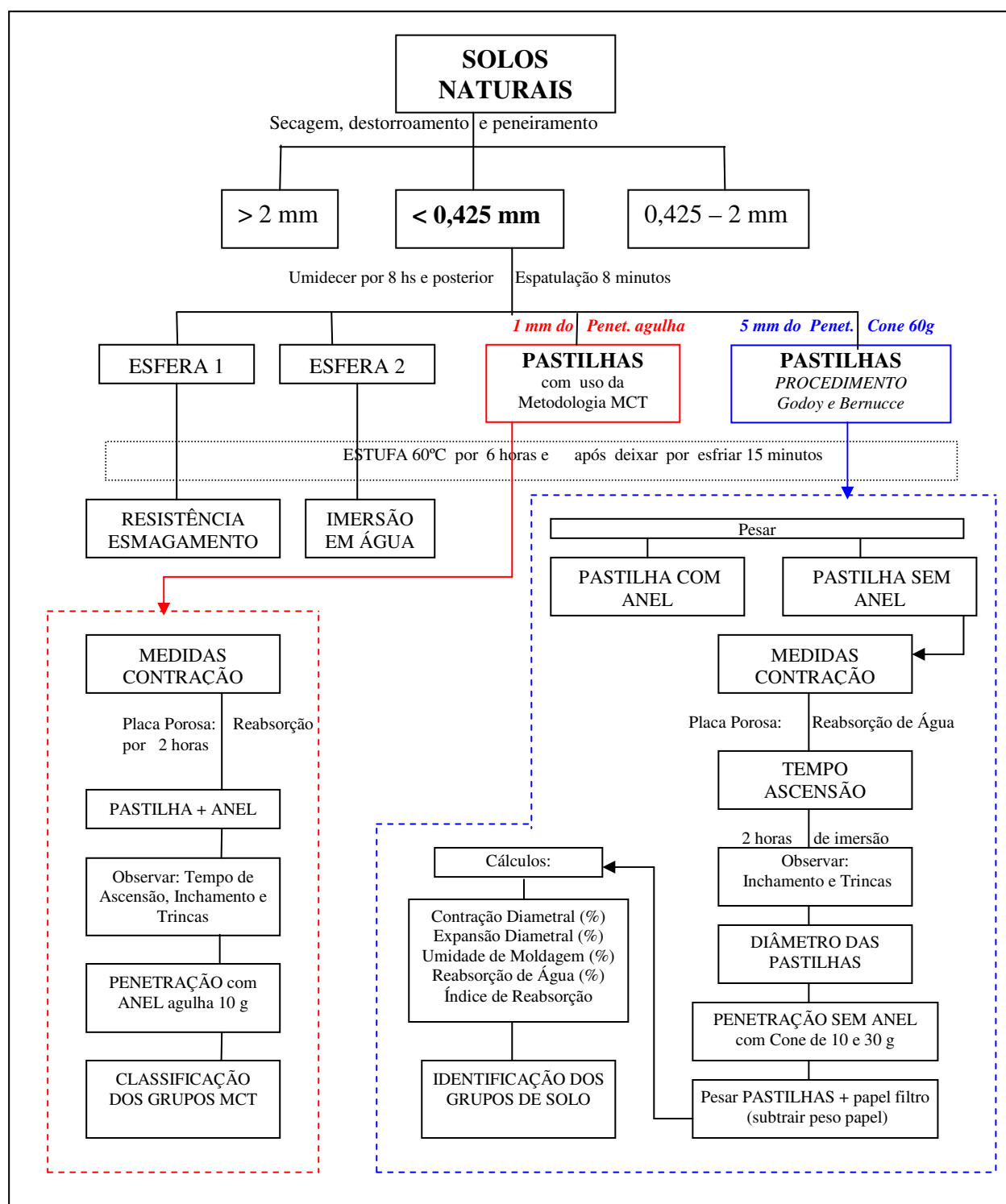
Após secagem, medir a contração da pastilha com paquímetro três vezes a 120°, tirando-se a média. Em seguida colocar a pastilha com anel para reabsorção de água destilada em placa porosa com papel filtro e deixar por 2 horas. Ao fim desse tempo, fazer a penetração com o penetrômetro agulha.

Foi usado o equipamento Penetrômetro Universal que permite medir o deslocamento da agulha na pastilha. O procedimento é o seguinte: posicionar a ponta da agulha rente a superfície da pastilha e marcar o valor inicial do penetrômetro Universal. Soltar o penetrômetro agulha e deixar cair em queda livre até estabilizar o seu movimento, marcando-se o valor final no penetrômetro. Têm-se, assim, o valor da penetração da agulha da pastilha. Nogami e Villibor (2003) recomendam fazer 3 penetrações da agulha na pastilha, posicionada na metade do raio do anel, a cada 120°, tirando-se uma média.

Deve-se moldar no mínimo 2 a 3 pastilhas para se obter uma média da contração e penetração. Com essas duas variáveis, entra-se no gráfico de classificação geotécnica dos solos tropicais e encontra-se o grupo de solo.

O Quadro 4.1 ilustra as seqüências do ensaio expedito pelo Método das Pastilhas para o procedimento pela MCT e de Godoy-Bernucci.

Quadro 4.1: Sequência do ensaio expedito pelo Método das Pastilhas.



No Quadro 4.2 são apresentados os resultados da classificação geotécnica dos solos de jazidas e revestimento primário pelo Método das Pastilhas segundo a MCT e Godoy-Bernucci das

amostras das Unidades Pedológicas predominante de Cambissolo e Podzol coletadas na etapa anterior.

Quadro 4.2: Resultados da classificação geotécnica dos solos de jazidas e revestimento primário.

Jazida	Local	Unid. Ped. Horizonte	Classificação Geotécnica com uso da Metodologia MCT			Classif. Geot. Godoy - Bernucci	Coordenadas Geográficas UTM
			Contração (mm)	Penetração (mm)	Grupos de Solos	Grupos de Solos	
Jd. 1	M. do Ubatuba	Ca3 Hor. B	1,15	1,95	LA' – LG'	LG'	22 J 0 745 617 E 7100 655 N
Jd. 1	M. do Ubatuba “saibro”	Ca3 Hor. C	0,64	3,9	NA' – NS'	TA'	22 J 0 745 626 E 7100 525 N
Jd. 2	M. João Judas - Forte	Ca3 Hoz. B	PVC ²⁸ 1,18	3,59	NA' / (NG'-NS')	---	22 J 0 746 731 E 7102 418 N
			Aço N ²⁹ 1,31	4,38	NS' – NG'		
			Aço C ³⁰ 1,30	3,52	NA' / (NG'-NS')		
Jd. 4	São Francisco do Sul - M.atrás da Sec. Obras da PMSFS	Ca2 Hor. B	2,45	1,83	LG'	LG'	22 J 0 737 153 E 7093 718 N
Jd. 4	São Francisco do Sul - Morro atrás da Sec. Obras da PMSFS	Ca2 Hor. C	PVC 0,41	6,53	NS' – NA'	---	22 J 0 737 175 E 7093 696 N
			Aço N 0,49	6,12	NS' – NA'		
			Aço C 0,40	5,95	NS' – NA'		
Jd. 5	São Francisco do Sul - Morro no Jardim Acarai	Ca1 Hor. B	2,11	0,68	LG'	LG'	22 J 0 737 179 E 7094 382 N
Jd. 5	São Francisco do Sul - Morro no Jardim Acarai	Ca1 Hor. C	0,77	6,07	NS'/NA'	NA'	22 J 737 175 E 7094 379 N
Jd. 6	São Francisco do Sul - Morro no Bairro Água Branca	Ca2 Hor. B	2,05	0,59	LG'	LG'	22 J 0 736 365 E 7093 542 N
Jd. 6	São Francisco do Sul - Morro no Bairro Água Branca	Ca2 Hor. C	0,85	6,96	NS'/NA'	NA'	22 J 0 736 339 E 7093 506 N
Jd. 7	São Francisco do Sul - Morro no Bairro Paulas	Cd2 Hor. B	2,25	0,92	LG'	LG'	22 J 0 737 907 E 7095 830 N
Jd. 7	São Francisco do Sul - Morro no Bairro Paulas	Cd2 Hor. BC	1,87	3,02	NG'	LG'	22 J 0 737 907 E 7095 830 N
Jd. 7	São Francisco do Sul - Morro no Bairro Paulas	Cd2 Hor. C	0,65	6,74	NS'/NA'	NS'	22 J 0 737 991 E 7095 764 N
Jd. 8	São Francisco do Sul - M.no Bairro Rocio Pequeno	Ca1 Hor. B	2,45	0,14	LG'	LG'	22 J 0 737 856 E 7095 703 N
Jd. 8	São Francisco do Sul - M.no Bairro Rocio Pequeno	Ca1 Hor. C	PVC 0,67	6,28	NS' / NA'	---	22 J 0 737 878 E 7095 629 N
			Aço N 0,95	6,10	NS' – NG'		
			Aço C 0,79	6,00	NS' / NA'		
Jd.9	SÃO FRANCISCO Morro atrás do Armazém Costa Sul-Morro Grande	Ca1 Hor. B	1,80	0,09	LG'	LG'	22 J 0 735 887 E 7092 320 N
Jd.9	SÃO FRANCISCO Morro no atrás do Armazém Costa Sul-Morro Grande	Ca1 Hor. C	0,64	6,25	NS' / NA'	NA'	22 J 0 735 887 E 7092 197 N

²⁸ ensaio pastilha com anel **PVC**, moldada com espátula, compressão Normal

²⁹ ensaio pastilha com anel **Aço** Inox, moldada com espátula, compressão Normal

³⁰ ensaio pastilha com anel **Aço** Inox, moldada com espátula, Comprimida com peso (distribuição da pressão)

Quadro 4.2: Resultados da classificação geotécnica dos solos de jazidas e revestimento primário (continuação).

Jazida	Local	Unid. Ped. Horizonte	Classificação Geotécnica com uso da Metodologia MCT			Classif. Geot. Godoy - Bernucci	Coordenadas Geográficas UTM
			Contração (mm)	Penetração (mm)	Grupos de Solos	Grupos de Solos	
Jd. 10	Morro da Laranjeira	Ca2 Hor. B	PVC 2,10	0,17	LG'	LG'	22 J 0 732 063 E 7090 670 N
			Aço N 2,20	0,22	LG'		
			Aço C 2,09	0,22	LG'		
Jd. 10	Morro da Laranjeira	Ca1 Hor. C	0,41	6,45	NS'-NA'	NA'	22 J 0 734 152 E 7086 180 N
Jd. 11	Morro da Palha - BR 280	Ca1 Hor. C	1,60	2,72	NG'	LA'	22 J 0 735 740 E 7088 382 N
Jd. 12	Ubatuba - B. Sandra Regina	P2 Hor. Bs	0,00	0,00	NA	LA	22 J 0 745 302 E 7099 168 N
Jd. 13	Ubatuba - B. Sandra Regina	P2 Hor. Bh	< 0,10	0,04	NA	LA	22 J 0 745 317 E 7098 647 N
Jd. 14	Iperobá - BR 301	P1 Hor. Bs	< 0,10	0,02	NA	LA	22 J 742 426 E 7097 961 N
Jd. 15	Entre Iperobá-Ubatuba	P2 Hor. Bs	< 0,10	0,03	NA	LA	22 J 737 754 E 7098 139 N
Jd. 16	Ubatuba - B. Sandra Regina	P2 Hor. Bs	< 0,10	0,04	NA	LA	22 J 745 486 E 7098 692 N
VNP1	Revestimento Primário – “saibro” - B. Jd. Acarai	Ca	0,87	1,34	LA'	LA'	22 J 737 255 E 7094 568 N
VNP2	Revestimento Primário – “saibro” - B. Jd. Acarai	Ca	0,69	6,83	NS'/NA'	NA'	22 J 0 737 288 E 7094 627 N
VNP3	Revestimento Primário – “saibro” - B. S. Regina	Ca Da Jd. 01	0,31	5,98	NS'-NA'	NA	22 J 0 745 649 E 7099 222 N
VNP4	Revestimento Primário – “saibro” - B. S. Regina	Ca Da Jd. 01	0,27	3,55	NA'/NS'	NA'	22 J 745 773 E 7098 876 N

Onde:

LG': Laterítico Argiloso

NG': Não Laterítico Argiloso

LA : Areia Laterítica

LA': Laterítico Arenoso

NA': Não Laterítico Arenoso

VNP : Via Não Pavimentada

NS': Não Laterítico Siltoso

TA': Transicional Arenoso

T: Transicional

Dos resultados do Quadro 4.2 pode-se notar na Unidade Geotécnica Cambissolo, substrato granitóide, que o horizonte B, cor marrom, textura argilosa, enquadra-se no grupo de solo LG' Laterítico Argiloso, pelos dois procedimentos das pastilhas. Por sua vez, o horizonte C desta Unidade enquadra-se no grupo de solo NS'-NA' e/ou NS'-NG' - Não Laterítico Siltoso-Arenoso e/ou Não Laterítico Silto-Argiloso.

Quanto ao revestimento primário de saibro, este enquadra-se como NS'/NA' Não Laterítico Siltoso e Arenoso.

A Unidade Pedológica Podzol formada por sedimentos quaternários foi classificada pela MCT como NA e pelo procedimento de Godoy-Bernucci como LA. Durante a realização do ensaio MP notou-se que este solo apresentou uma pequena penetração e contração nos dois procedimentos. Também, notou-se que as esferas de solo arenoso de cor ferrugínea não se desagregaram na

presença de água, mantendo o seu formato. Já, os solos arenosos de cor branca não apresentaram nenhuma resistência após secagem das pastilhas, desagregando mesmo envolto pelo anel de aço.

De acordo com Godoy (1997), há uma correspondência entre penetração das pastilhas com a expansão do material. Verificou-se que o Cambissolo, horizonte B, apresentou uma pequena penetração, enquanto que, no horizonte C, a penetração foi maior, dando um indicativo da expansão do solo. Isso será confirmado pelo procedimento tradicional de expansão.

Godoy (1997) cita que “segundo o prof. Villibor (comunicação pessoal, 1996), para que um solo mais arenoso comece a ter um comportamento laterítico precisa ter, entre outras características, um teor mínimo de argila de 14%”. Nesta pesquisa, no ensaio granulométrico obteve-se a fração de argila de 3,5% para o solo arenoso de cor ferrugínea. Também, Godoy (1997) cita que o ferro atua como agente cimentante no solo. É possível que as características químicas estejam contribuindo para que as esferas de solo areia (80,6% de areia fina) estejam apresentando essa resistência a desagregação devido aos componentes químicos do solo.

4.4 DEFINIÇÃO DE BAIRROS MAIS POPULOSOS E COM NÚMERO SIGNIFICATIVO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS

4.4.1 Informações obtidas na Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul

De acordo com informações obtidas na Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul, estava previsto para o ano de 2004, a pavimentação do Bairro Jardim Acarai, com revestimento de blocos pré-moldados, sendo este localizado na Unidade Pedológica de Cambissolo (Ca1). E, para o ano de 2005, havia a previsão de calçamento de algumas ruas do Bairro Sandra Regina, que se localizam na Unidade Pedológica de Podzol (P2). Ambos os bairros apresentam uma grande concentração de residências.

4.4.2 Verificação em Campo

No Jardim Acarai foi verificado o término de uma pavimentação com peças de concreto para pavimentação (lajotas sextavadas) na rua Dos Estivadores, ilustradas nas Figuras 4.48 e 4.49.



Figura 4.48: Placa da obra.



Figura 4.49: Último trecho concluído em lajotas sextavadas desta rua.

Durante a obra foi verificado em campo que a camada de reforço de subleito, no trecho ilustrado na Figura 4.49, foi de “saibro” procedente do Morro do Ubatuba. Também, foi verificada neste bairro uma grande concentração de edificações, sendo esta área habitada por moradores a mais de 30 anos. A Figura 4.50 ilustra o bairro Jardim Acarai em Unidade Pedológica Cambissolo (Ca1), de relevo ondulado.



Figura 4.50: Vista parcial do bairro Jardim Acarai.

Na Figura 4.50 observam-se as casas e vias não pavimentadas, assentes em morros de relevo ondulado, identificado como Ca1, cortando horizontes B e C. Na parte baixa do bairro, vias e terrenos foram aterrados.

No bairro Sandra Regina, de Unidade Pedológica de Podzol (P2), verifica-se uma grande concentração de casas e comércio em geral e, suas vias não pavimentadas possuem revestimento primário de saibro procedente do Morro do Ubatuba, segundo informações obtidas na Secretaria

de Obra da Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul – Intendência Ubatuba. A Figura 4.51 mostra uma vista parcial deste bairro.



Figura 4.51: Vista parcial do bairro Sandra Regina em Podzol Não Hidromórfico.

Diante das informações obtidas nas etapas anteriores, selecionou-se o bairro Jardim Acarai para o desenvolvimento das demais fases da pesquisa. A Figura 4.52 mostra a localização do bairro Jardim Acarai na Ilha de São Francisco do Sul no mapa Pedológico.

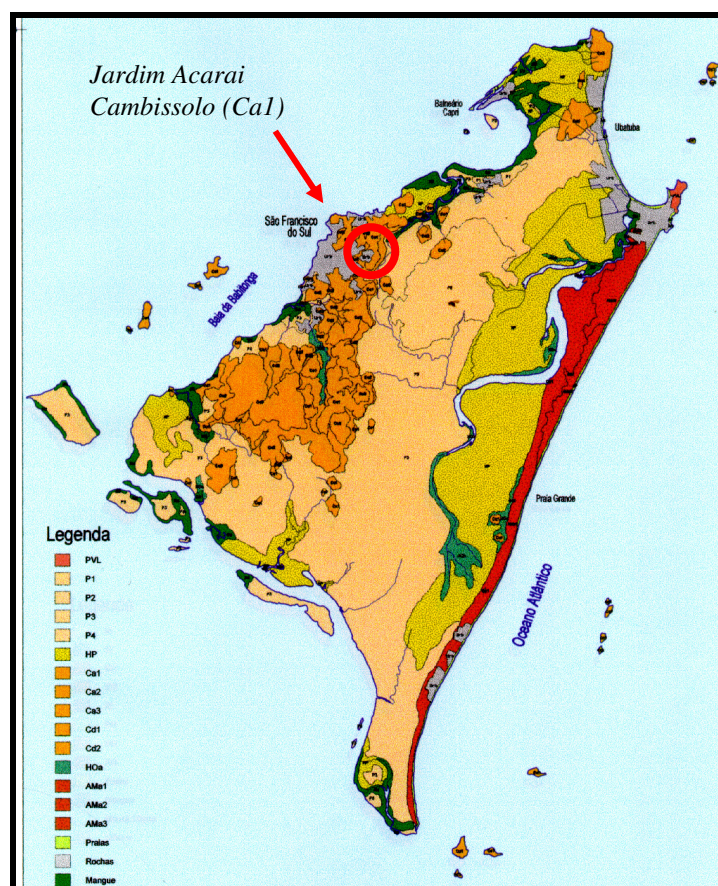


Figura 4.52: Localização do bairro Jardim Acarai em São Francisco do Sul - Mapa Pedológico.

CAPÍTULO V CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI

5.1 LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

Utilizando-se um trado de 150mm de diâmetro como equipamento de sondagem, foi possível investigar os solos de fundação das vias, coletando-se amostras desde a superfície até a profundidade de 800 a 1000mm. Para cada amostra coletada eram determinadas as coordenadas geográficas UTM.

A Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal informou que o “saibro” empregado constantemente nas vias não pavimentadas na região são procedentes do Morro do Ubatuba, e em função da caracterização preliminar de revestimento primário na Fase 1, decidiu-se apenas caracterizar o material da Jazida J1 (Morro do Ubatuba) das áreas 2 e 3.

Quanto ao revestimento primário de “saibro” no bairro Jardim Acarai, observou-se que em alguns trechos das vias com inclinação acentuada, o “saibro” encontrava-se com uma espessura muito delgada ou inexistente.

A Figura 5.1 ilustra os pontos amostrados no Mapa Pedológico para o bairro Jardim Acarai, bem como, o traçado dos arruamentos definidos a partir das coordenadas geográficas UTM de campo. A cor cinza indica área urbanizada no mapa pedológico do IBGE.

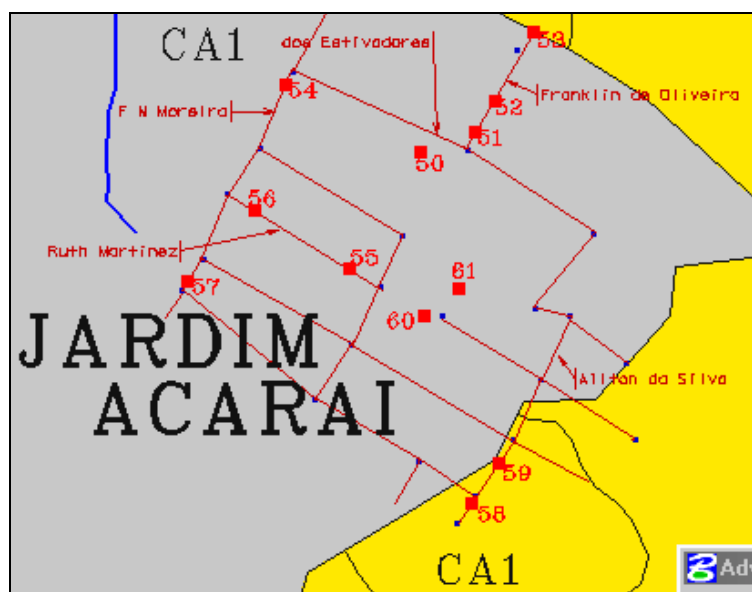


Figura 5.1: Bairro Jardim Acarai - traçado das vias não pavimentadas e pontos amostrados n.ºs.50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 e 61.

Na Figura 5.2 são identificados 21 pontos amostrados de coleta de “saibro” nas áreas 2 e 3 do Morro do Ubatuba.

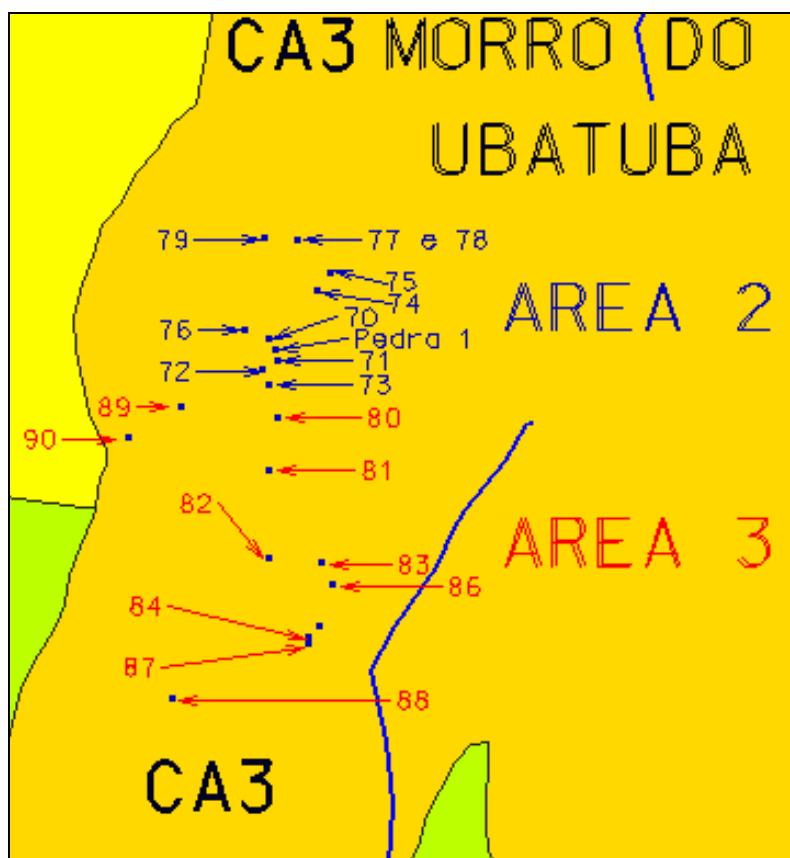


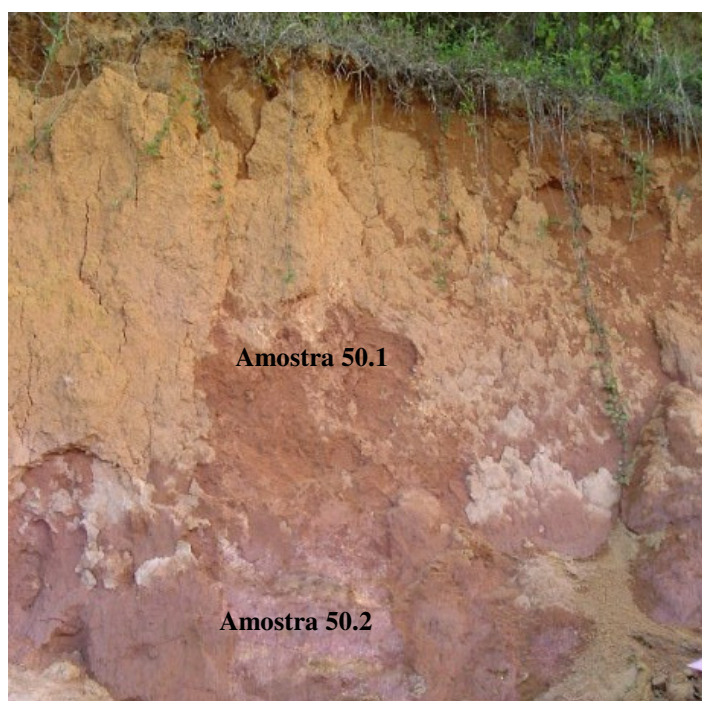
Figura 5.2: Jazida J1 (Ca3) Cambissolo Morro do Ubatuba, áreas 2 e 3, “saibro” pontos amostrados.

No Quadro 5.1 são relacionados os números, localização e coordenadas UTM das amostras coletadas.

A seguir, nas Figuras de 5.3 a 5.12 são apresentados alguns pontos amostrados no Jardim Acarai. A Figura 5.3 ilustra uma coleta em um barranco, no horizonte B de cor marrom e no horizonte C de cor roxa.

Quadro 5.1: Amostras coletadas no bairro Jardim Acarai.

Nº. da Amostra	Local e Classificação Expedita	Coordenada UTM
50.1	Rua dos Estivadores, 769, horizonte B, cor roxa, siltosa	22J 0 737 177 E 7 094 512 N
50.2	Rua dos Estivadores, 769, horizonte C, cor marrom, argilosa	
51	R.Franklin de Oliveira, 496, hor. B,[0-400mm]: cor vermelha, argilosa	22J 0 737 230 E 7 094 526 N
52.2	R.Franklin de Oliveira, 540 [150-650mm]: cor marrom clara, argilosa	22J 0 737 255 E 7 094 568 N
52.3	R. Franklin de Oliveira, 540 [650-850mm]: cor marrom escura, argilosa	
54.1	Rua Fabrício Maia Moreira, 379 cor vermelho, argilosa	22J 0 737 040 E 7 094 579 N
54.2	Rua Fabrício Maia Moreira, 379 cor rosa, argilosa	
54.3	Rua Fabrício Maia Moreira, 379 cor rosa mais claro, argilosa	
55	Rua Ruth N. Martines, 286, [0-900mm]: cor amarela, argilosa	22J 0 737 105 E 7 094 393 N
56	Rua Ruth N. Martines com Fabrício Maia Moreira, cor marrom	22J 0 736 997 E 7 094 463 N
58.1	Rua Ailton da Silva, [600mm]: cor roxa, siltosa, mica	22J 0 737 231 E 7 094 163 N
58.2	Rua Ailton da Silva, [1500mm]: cor roxa, siltosa, mica	
59	Rua Ailton da Silva, hor.B, cor marrom, argilosa	22J 0 737 256 E 7 094 200 N
60.1	Ruth N. Martines, 427 Jazida 5, hor. B, cor marrom, argilosa	22J 0 737 199 E 7 094 329 N
60.2	Ruth N. Martines, 427 Jazida 5, hor. C, cor roxa, areno-siltosa	22J 0 737 200 E 7 094 341 N
61.1	Jazida J5, hor. B, cor marrom, argilosa	22J 0 737 211 E 7 094 371 N
61.2	Jazida J5, hor. C, cor roxa, siltosa	

**Figura 5.3:** Amostra nº.50, horizonte B e C.

A Figura 5.4 ilustra a coleta da amostra nº.51, na rua Franklin de Oliveira, até a uma profundidade de 400mm.



Figura 5.4: Coleta da amostra nº.51 do horizonte B.

A Figura 5.5 ilustra a inexistência de revestimento primário, retirando-se com o trado solo argiloso de cor vermelha.



Figura 5.5: Amostra nº.51 horizonte B, cor vermelho, argilosa.

As Figuras 5.6 e 5.7 ilustram a coleta da amostra nº. 54 na rua Fabrício Maia Moreira. Verifica-se na Figura 5.6 uma grande resistência do solo argiloso do horizonte B, sendo necessário iniciar a escavação com uma talhadeira, para então, prosseguir com o trado.



Figura 5.6: Início da escavação com talhadeira.

A Figura 5.7 ilustra a variação das cores do horizonte B da amostra nº.54, separando a amostra pela diferenciação de cores no perfil de aproximadamente 1 metro.



Figura 5.7: Amostras nºs.54.1, 54.2 e 54.3, do horizonte B, de cor vermelho a rosa claro.

A Figura 5.8 ilustra uma sondagem a trado em horizonte B, de textura argilosa e cor amarela da amostra nº.55.



Figura 5.8: Amostra nº.55, cor amarela, argilosa.

A Figura 5.9 ilustra a coleta de amostra numa seção de corte na rua Ruth N. Martines. Amostra nº.56 de textura argilosa e marrom.



Figura 5.9: Amostra nº.56, cor marrom, argilosa.

A Figura 5.10 ilustra um corte de horizonte C, textura siltosa, cor roxa com presença de mica. Na base deste corte fica a rua Ailton da Silva.

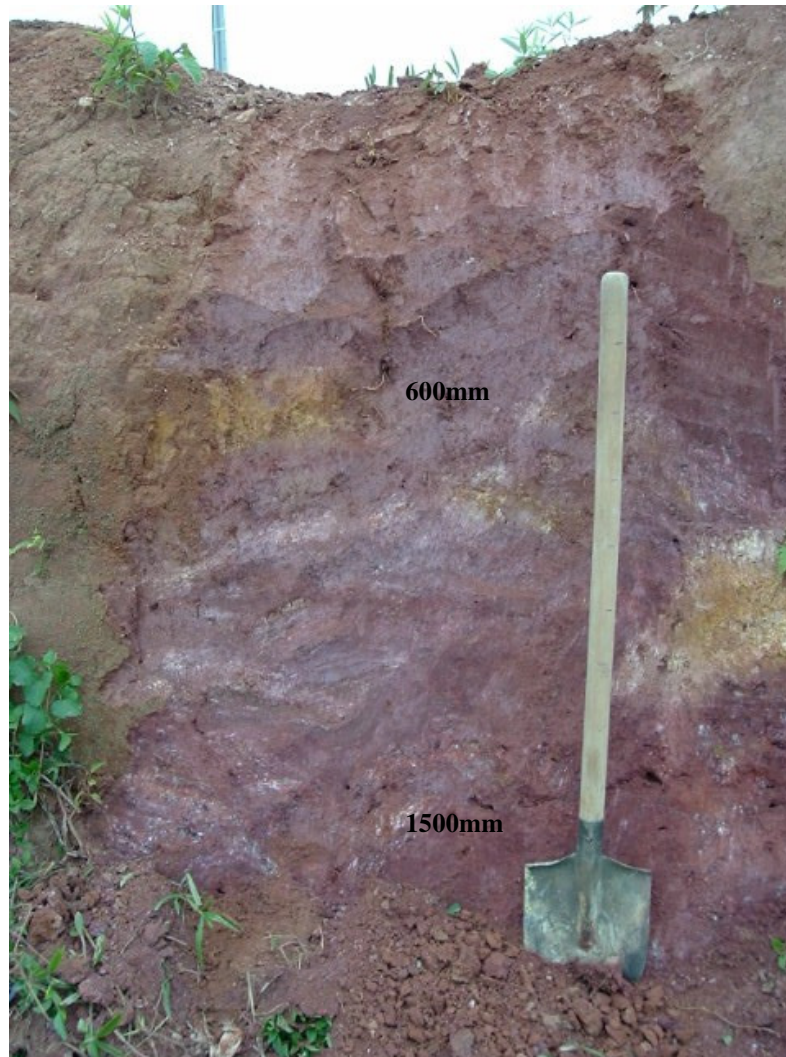


Figura 5.10: Amostra n°.58, horizonte C, cor roxa variegada.

A Figura 5.11 ilustra a Jazida J5 no bairro Jardim Acarai, com horizonte B, textura argilosa e cor marrom e, o horizonte C, de textura areno-siltosa de cor roxa. Na Jazida J5 é indicada a posição da coleta das amostras n°.60 e 61.

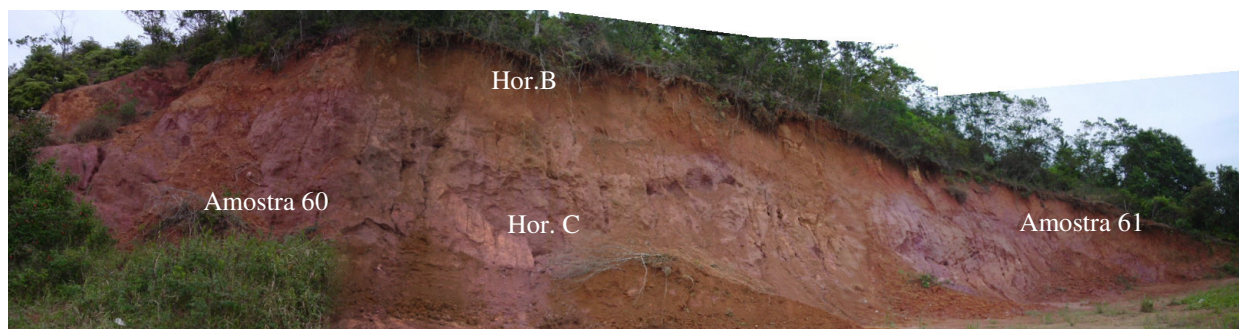


Figura 5.11: Jazida J5, horizonte B e C, Amostras n°.60 e 61.

A Figura 5.12 mostra em mais detalhe o lado esquerdo da Jazida J5, onde são coletadas amostra no horizonte B e C.



Figura 5.12: Jazida J5, Amostra n°.60, horizonte B e C.

5.2 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS PELO MÉTODO DAS PASTILHAS

Nos Quadros 5.2 e 5.3 são apresentados os resultados de caracterização pelo Método das Pastilhas dos perfis de solos do bairro Jardim Acarai (barrancos e vias) e da Jazida J1- Morro do Ubatuba, ambos da Unidade Pedológica Cambissolo.

No Anexo 1: Resultados do ensaio pelo Método das Pastilhas do Bairro Jardim Acarai e Morro do Ubatuba são apresentados quadros com todos os resultados dos ensaios e suas propriedades, segundo o procedimento MCT e de Godoy-Bernucci das amostras coletadas no bairro Jardim Acarai e Morro do Ubatuba.

Quadro 5.2: Caracterização geotécnica dos solos pelo Método das Pastilhas, bairro Jardim Acarai (Ca1).

Amostras	Metodologia MCT				Metodologia Godoy-Bernucci		
	Contração (mm)	Penetração (mm)	Carta 1994	Carta 2003	Penetração 10g (mm)	Penetração 30g (mm)	Grupos de Solo
Am.50.1 horizonte B	1,93	1,65	LG'	LG'	1,08	2,21	LG'
Am.51.hor.B[0-400mm]argilosa,verm.	2,18	0,42	LG'	LG'	0,82	2,01	LG'
Am.52.2 hor.B[150-650]argilosa,marrom	1,83	0,07	LG'	LG'	0,14	0,29	LG'
Am.52.3 hor.B[650-850]argilosa,marrom	1,60	0,09	LG'	LG'	0,12	0,12	LG'
Am.54.1 hor.B[0-300]argilosa,vermelho	2,18	0,45	LG'	LG'	0,25	0,90	LG'
Am.54.2 hor.B [300-500]argilosa,rosa	2,09	0,87	LG'	LG'	0,41	1,26	LG'
Am.54.3 hor.B [500]argilosa,rosa claro	2,01	0,74	LG'	LG'	0,73	1,72	LG'
Am.55 hor.B [0-900]argilosa,amarela	2,15	0,09	LG'	LG'	0,13	0,14	LG'
Am.56 hor.B argilosa,marrom	2,04	0,07	LG'	LG'	0,11	0,15	LG'
Am.57.1 hor.B [150-500]argilosa,preta	2,16	0,04	LG'	LG'	0,05	0,12	LG'
Am.57.2 hor.B [500-800]arg.,preto claro	2,25	0,07	LG'	LG'	0,07	0,14	LG'
Am.59 hor.B argilosa,marrom	2,13	0,06	LG'	LG'	0,14	0,13	LG'
Am.60.1 hor.B[2000mm]argilosa,marrom	2,11	0,68	LG'	LG'	0,65	1,72	LG'
Am.61.1 hor.B[0,800]argilosa,marrom	2,16	0,21	LG'	LG'	0,10	0,32	LG'
Am.50.2 hor.C,siltosa,roxa	0,95	6,23	NS'-NG'	NG'-NS'	4,67	7,63	TA'
Am.58.1 hor.C[600mm]siltosa, roxa	0,99	5,98	NS'-NG'	NG'-NS'	4,75	8,07	TA'
Am.58.2 hor.C[1500mm]siltosa, roxa	1,03	6,03	NS'-NG'	NG'-NS'	5,28	8,75	NA'
Am.60.2 hor.C[5000mm]silt., roxo claro	0,77	6,07	NS'/NA'	NS'/NA'	5,87	9,70	NA'
Am.61.2 hor.C [2500mm]siltosa, roxa	1,15	6,18	NS'-NG'	NG'-NS'	5,31	9,17	NA'

LG': Laterítico Argiloso; NG': Não Laterítico Argiloso; NS': Não Laterítico Siltoso; NA': Não Laterítico Arenoso; TA': Transicional Arenoso; T: Transicional.

Segundo Nogami e Villibor (1995), as amostras colhidas para a análise de resultados devem ser agrupadas segundo o critério genético, a fim de que as camadas que elas constituem possam ser delimitadas com maior fidelidade possível, utilizando-se das leis genéticas, geológicas e pedológicas.

Com relação aos resultados do ensaio MP da pesquisa, analisando-se os valores de contração, penetração e classificação dos grupos MCT, foi possível verificar sua relação com os dados pedológicos, como foi observado por Godoy et al. (1998).

Em relação ao procedimento de ensaio MP da Metodologia MCT e de Godoy-Bernucci, ambos classificam os solos finos dentro do mesmo grupo com muita semelhança, como foi possível verificar para a Unidade Pedológica de Cambissolo, tanto para horizonte B como para o horizonte C.

Quadro 5.3: Caracterização geotécnica dos solos pelo Método das Pastilhas, Morro do Ubatuba (Ca3), material empregado em revestimento primário.

Amostras	Metodologia MCT				Metodologia Godoy-Bernucci		
	Contração (mm)	Penetração (mm)	Carta 1994	Carta 2003	Penetração 10g (mm)	Penetração 30g (mm)	Grupos de Solo
Amostra 70	0,77	6,83	NS'/NA'	NS'/NA'	6,19	11,30	NA'
Amostra 71	0,82	7,03	NS'/NA'	NS'/NA'	6,91	11,50	NA'
Amostra 72	0,67	6,57	NS'/NA'	NS'/NA'	7,10	12,05	NS'
Amostra 73	1,41	4,72	NG'	NG'	4,09	7,92	TG'
Amostra 76	0,77	6,75	NS'/NA'	NS'/NA'	5,71	10,35	NA'
Amostra 77	0,70	3,03	NA'-NS'	NA'-NS'	9,75	11,48	NS'
Amostra 78	0,58	6,43	NS'/NA'	NS'/NA'	7,83	11,69	NS'
Amostra 79	2,21	6,49	NG'	NG'	4,45	8,11	NG'
Amostra 80	0,95	6,76	NS'-NG'	NG'-NS'	6,22	10,17	NA'
Amostra 81	1,18	3,60	NA'/(NG'-NS')	NA'/NG'-NS'	3,96	6,49	TA'
Amostra 82	0,59	6,80	NS'/NA'	NS'/NA'	7,26	11,67	NS'
Amostra 83	0,67	6,89	NS'/NA'	NS'/NA'	7,53	12,31	NS'
Amostra 84	0,76	7,20	NS'/NA'	NS'/NA'	11,00	11,50	NS'
Amostra 85	0,63	6,77	NS'/NA'	NS'/NA'	7,54	11,90	NS'
Amostra 86	0,69	6,64	NS'/NA'	NS'/NA'	8,22	11,52	NS'
Amostra 87	1,97	7,20	NG'	NG'	2,89	5,35	LG'
Amostra 88	0,77	6,78	NS'/NA'	NS'/NA'	8,64	12,12	NS'
Amostra 89	0,70	6,67	NS'/NA'	NS'/NA'	6,71	11,04	NS'
Amostra 90	1,04	6,76	NS'-NG'	NG'-NS'	5,46	9,68	NA'

No Quadro 5.4 é apresentado um resumo da identificação dos grupos de solos da Unidade Pedológica de Cambissolo.

Quadro 5.4: Resumo da caracterização geotécnica dos solos da Unidade Geotécnica Cambissolo substrato Granitóides, predominando-se os grupos abaixo:

Bairro	Unidade Pedológica	Horizonte	Classificação dos Grupos de Solos pela Pastilhas	
			[1] Metodologia MCT	[2] Procedimento Godoy-Bernucci (2000)
Jd. Acarai 14 amostras	Cambissolo	B	LG'	LG'
Jd. Acarai 5 amostras	Cambissolo	C	NS'-NG'	NA'
Jazida 1 M. Ubatuba 19 amostras	Cambissolo	C	NS'/NA'	NS' e NA'

Na sequência são apresentadas as análises dos agrupamentos das amostras coletadas no bairro Jardim Acarai (Ca1) e da Jazida 1 (Morro do Ubatuba), empregando-se as definições do Quadro 2.3 - Propriedade dos grupos de solos.

5.2.1 Cambissolo: 19 amostras – Jardim Acarai.

Agrupamento 1:

- Unidade Pedológica: Ca1
- Horizonte: B
- Quantidade: **14 Amostras**
- Grupo de Solo MCT [1] e Godoy-Bernucci [2]: **LG' – Laterítico Argiloso** (ambos procedimentos)
- Resultados:
 - **MCT:** contração $> 1,4\text{mm}$: $G' \Rightarrow$ variando de 1,6mm a 2,25mm, o que indica solo de granulometria fina, argilosa; penetração $< 2\text{mm}$: $L \Rightarrow$ variando de 0,04mm a 0,87mm, indicando Laterítico, exceto uma amostra que apresentou penetração de 1,65mm, pois esta provavelmente foi coletada num horizonte BC.
 - **Godoy-Bernucci:** contração $\geq 6 \%$ \Rightarrow variando de 7,98% a 11,37%, indicando solo argiloso; expansão $\leq 10,5 \%$ \Rightarrow variando de 2,11% a 5,58%; penetração de cone 10gr $\leq 4\text{mm}$ e de cone 30gr $\leq 6\text{mm}$; e índice de reabsorção negativo, que significa a quantidade de água reabsorvida pela pastilha é menor após a secagem, em relação a umidade de moldagem.
- Tabela de Propriedade: elevada capacidade de suporte com imersão (mini-CBR); baixa expansão; contração de média a elevada.
- Utilização: é recomendado empregar em primeiro lugar como material de proteção à erosão e, na sequência, como revestimento primário, base de pavimento, reforço de subleito, subleito compactado, aterro (corpo) compactado.

Agrupamento 2:

- Unidade Pedológica: Ca1
- Horizonte: C
- Quantidade: **4 Amostras**
- Grupo de Solo: **NS' – NG' [1] e NA' ou TA' [2]**

- Resultados:
 - **MCT:** contração entre 0,9mm a 1,4mm (0,95mm–1,15mm) – granulometria de material fino; penetração $\geq 2\text{mm}$ ($\approx 6\text{mm}$). A penetração muito elevada, indica que o solo compactado apresenta baixa resistência na presença de água.
 - **Godoy-Bernucci:** contração entre 2%– 6% arenoso; o que diferencia de Não laterítico de Transicional é a penetração do cone de 30g $\geq 8\text{mm}$.
- Tabela de Propriedade: baixa capacidade de suporte com imersão (mini-CBR); expansão média; contração média a elevada.
- Utilização: não recomendado para proteção à erosão, revestimento primário, reforço de subleito, sendo utilizado, em último caso, como aterro (corpo) compactado e subleito compactado.

Agrupamento 3:

- Unidade Pedológica: Ca1
- Horizonte: C
- Quantidade: **1 Amostra**
- Grupo de Solo: **NS'/NA' [1] e NA' [2]**
- Resultados:
 - **MCT:** contração entre 0,55mm e 0,9mm (0,77mm); penetração $\geq 2\text{mm}$ (6,07mm é elevada).
 - **Godoy-Bernucci:** contração entre 2% – 6% (4,5%) – solos arenoso; expansão > 8 (9,47%); penetração cone 10g $\geq 4\text{mm}$ e cone 30g $\geq 8\text{mm}$; índice de reabsorção: +
- Tabela de Propriedade: capacidade de suporte com imersão (mini-CBR) médio; contração média; expansão média.
- Utilização: idem ao anterior.

5.2.2. Cambissolo: 19 amostras da Jazida J1 – Morro do Ubatuba

Classificação MCT:

- 12 amostras NS'/NA';
- 1 amostra NA'-NS';
- 2 amostras NS'-NG';
- 3 amostras NG'; e,

- 1 amostra NA'/(NG'-NS')

Classificação **Godoy-Bernucci (2000):**

- 12 amostras NS'/NA' (MCT); na classificação Godoy-Bernucci, 9 são NS' e 3 são NA'
- 1 amostra NA'-NS' (MCT), corresponde na classificação Godoy-Bernucci a NS';
- 2 amostras NS'-NG' (MCT), corresponde na classificação Godoy-Bernucci a NA';
- 3 amostras NG' (MCT), corresponde na classificação Godoy-Bernucci a 1 TG', 1 NG' e 1 LG'; e,
- 1 amostra NA'/NG'-NS' (MCT), corresponde na classificação Godoy-Bernucci a 1 TA'.

Portanto, verifica-se um predomínio do grupo NS'/NA' (MCT), do solo saprolítico, horizonte C, empregado como revestimento primário nas vias do município de São Francisco do Sul.

Como os solos do horizonte C, do Morro do Ubatuba, apresentam uma granulometria mais grosseira, com 63,5% de fração areia e 28% de cascalho (vide Quadro 5.7), pode-se caracterizá-lo como sendo NA'. Um solo classificado como NA' apresenta a seguinte característica:

- Propriedade: NA' – capacidade de suporte com imersão (mini-CBR) médio a elevado; expansão baixa; contração baixa a média.
- Utilização: NA' – indicado como revestimento primário, proteção à erosão, base de pavimento, reforço do subleito, subleito compactado, aterro (corpo) compactado.

5.3 ESCOLHA DOS SOLOS REPRESENTATIVOS DO JARDIM ACARAI E MORRO DO UBATUBA

A partir dos resultados obtidos até aqui, definiu-se que os solos representativos do Jardim Acarai são da Unidade Pedológica Cambissolo (Ca1), Jazida J5, de horizontes B e C. A Jazida J1-Morro do Ubatuba da Unidade Pedológica Cambissolo (Ca3) de horizonte C, saprolítico, é empregado como material de revestimento primário. No Quadro 5.5 são apresentados as Jazidas, grupos de solos e horizontes onde foram coletados de solos para os ensaios de laboratório.

Quadro 5.5: Grupos de solos para ensaio de laboratório – Jardim Acarai e Morro do Ubatuba.

Bairro	Jazidas
Jazida J5 - Jardim Acarai Substrato Granitóide	Grupo de Solo: LG' horizonte B Grupo de Solo: NS'/NG' horizonte C
Jazida J1 – Morro do Ubatuba Substrato Granitóide	Grupo de Solo: NA' Área 3 – horizonte C

Figuras 5.13 e 5.14 identificam os locais de coleta das amostras empregadas em ensaios de laboratório. No bairro Jardim Acarai foram coletados solos do horizonte B (pontos 1, 2 e 3) e do horizonte C (pontos 4, 5, 6 e 7), indicados na Figura 5.13.

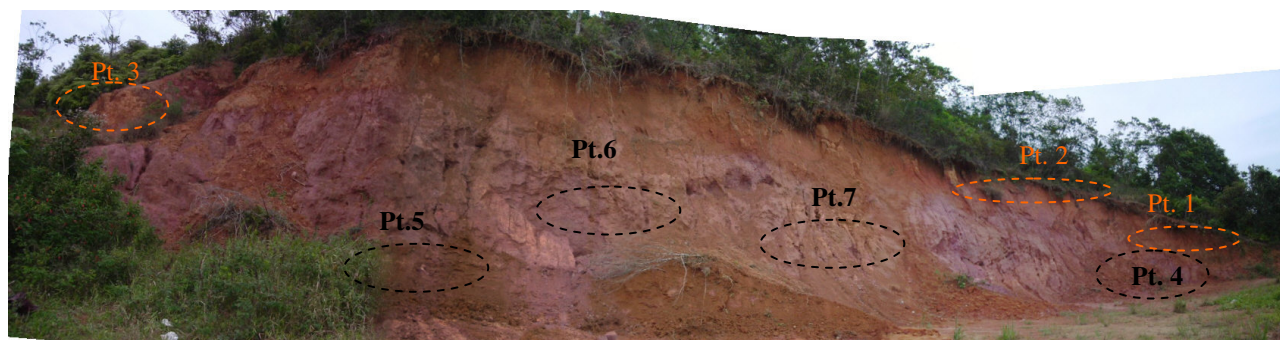


Figura 5.13: Jardim Acarai – Jazida J5: pontos de coleta de horizonte B: Ca1 – LG' e horizonte C: Ca1 – NS'/NG' (substrato granitóide).

Na Jazida J1 foram coletados solos superficiais e soltos da área 3 ilustrada na Figura 5.14.



Figura 5.14: Jazida J1 - Morro do Ubatuba: Área 3 - coleta do horizonte C: Ca3 – NA' (substrato granitóide).

No Quadro 5.6 são indicadas as vias a serem investigadas com o Equipamento DCP para avaliar a resistência e umidade “in situ” do perfil de solo.

Quadro 5.6: Vias a serem investigadas com o DCP – determinar resistência e umidade.

Bairro	Vias
Jardim Acarai	<i>Grupo de Solo: LG' – horizonte B</i> Ruas: Franklin de Oliveira, Fabrício Maia Moreira, Ruth Martines, Rosa L. de Oliveira, Ângelo Brehn, Verde Teto, Vicente S. de Oliveira, Ailton da Silva.
	<i>Grupo de Solo: NS'/NG' – horizonte C</i> Ruas: Ailton da Silva, Vicente S. de Oliveira, Ângelo Brehn

5.4 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS

Nos Quadros 5.7 e 5.8 são apresentados os resultados de caracterização e classificação pelos procedimentos tradicionais e pelo Método das Pastilhas dos solos da Jazida J5 – Jardim Acarai (horizonte B e C) e Jazida J1 - Morro do Ubatuba (horizonte C) definido na etapa anterior.

Quadro 5.7: Ensaios de caracterização e classificação HRB e USC.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_{\text{grão}}$ KN/m ³	NBR 6502/95 Granulometria (%)						HRB (IG)	USC
					A	S	AF	AM	AG	Cs.		
J5 - Ca hz. B	66	46	20	26,04	52,5	13,2	5,8	16,5	12	0	A-7-5(13)	MH
J5 - Ca hz. C	45	40	5	25,14	2,8	39,7	22	19,1	16,4	0	A-5 (3)	SM
J1 - Ca hz.C Saibro	30	25	5	26,09	0	8,5	10	15,5	38	28	A1-b(0)	SM

A: argila $\varnothing < 0,002$ mm; S: silte 0,002 a 0,06 mm; AF: areia fina 0,06 a 0,20 mm; AM: areia média 0,20 a 0,60 mm; AG: areia grossa 0,60 a 2,00 mm; Cs: Cascalho 2,00 a 60,00 mm (ABNT 6502/95 – Solos e Rochas).

Quadro 5.8: Classificação geotécnica pelo Método das Pastilhas.

Método das Pastilhas		
Amostra	MCT	Godoy-Bernucci
J5 - Ca hz. B	LG'	LG'
J5 - Ca hz. C	NS'-NG'	NA'
J1 - Ca hz.C Saibro	NS'/NA'	NS' e NA'

De acordo com os resultados obtidos pode-se tecer os seguintes comentários:

5.4.1 Jazida J5 - Cambissolo – horizonte B

- *Método das Pastilhas*: solo laterítico argiloso (LG') pelo dois procedimentos; seria indicado para revestimento primário, reforço de subleito, subleito compactado, aterro (corpo) compactado (vide Quadro 2.3);
- *HRB*: solos argilosos de comportamento regular a mau como subleito [A-7-5] ASTM D3282-73; e,
- *USC*: solo siltoso altamente compressível (MH) ASTM 2487-69. Siltes elásticos; qualidade como solo de fundação má e muito má; retração e umedecimento elevados (Tabela II de classificação dos solos para aeroportos, VARGAS, 1914).

Esse solo apresentou um LL=66% e IP=20%, não atendendo aos valores especificados máximos de 25% e 6% para emprego em camadas do pavimento. A classificação tradicional tem limitado esses valores para evitar a variação de volume das camadas subjacentes ou constituintes dos pavimentos, em consequência da variação de seu teor de umidade por secagem (retração) ou por imersão em água (expansão) (NOGAMI e VILLIBOR, 1995). Esses autores citam, entretanto, que há solos com LL > 50% que não expandem ou expandem muito pouco quando compactados nas condições exigidas pelas normas rodoviária e em seguida imersos em água. É muito provável que este solo tenha este comportamento, pois apresentou LL e IP elevados e, no entanto, não apresentou expansão elevada, (0,48%) tanto na energia intermediária e modificada (ensaio de CBR-Quadro 5.17). Segundo Godoy (1997), a expansão está intimamente relacionada com a penetração do ensaio das pastilhas. Pode-se observar nas amostras de solo classificadas como LG' uma penetração variando de 0,04 a 1,65mm do penetrômetro agulha. Com o uso dos penetrômetros de cone, também, obteve-se uma penetração baixa. Para esse solo pode-se dizer, então, que o Método das Pastilhas foi positivo na identificação da expansibilidade.

5.4.2 Jazida J5 - Cambissolo - horizonte C

- *Método das Pastilhas*: solo não laterítico siltoso-argiloso (MCT) ou não laterítico arenoso (Godoy-Bernucci); não recomendado para proteção à erosão, revestimento primário, base de pavimento, reforço de subleito, sendo indicado, em último caso, como aterro (corpo) compactado e subleito compactado (vide Quadro 2.3);
- *HRB*: Solo siltoso, com comportamento regular a mau como subleito [A-5]; e,

- *USC*: Areia siltosa (SM).

Observa-se, no Quadro 5.2, que as 4 amostras classificadas como NS'-NG' e 1 amostra classificada como NS'/NA' apresentam penetrações elevadas, na ordem de 6 mm. No ensaio de expansão pelo procedimento tradicional, esse solo apresentou valores elevados de expansão de 3,5% na energia Normal no entorno da umidade ótima. O valor da expansão aumentou (acima de 4%) na energia Intermediária e Modificada, sendo maior no ramo seco da curva de compactação (Quadro 5.14). Novamente, pode-se dizer que o Método das Pastilhas foi positivo na identificação da expansibilidade deste solo. Na região, pode-se observar que o horizonte C geralmente apresenta partículas de mica.

5.4.3 Jazida J1 - Cambissolo - horizonte C – Saibro

- *Método das Pastilhas*: solo não laterítico siltoso-arenoso (NS'/NA' - MCT) e (NS' e NA' – Godoy-Bernucci); na classificação granulométrica, observa-se 63,5% de fração areia (fina, média e grossa), atribuindo a este solo as características de NA'. Indicado para revestimento primário, proteção à erosão, base de pavimento, reforço de subleito, subleito compactado e aterro (corpo) compactado (vide Quadro 2.3);
- *HRB*: fragmentos de pedra, pedregulhoso e areia; classificado como excelente a bom para subleito [A-1-b]; e,
- *USC*: Areia siltosa (SM).

Observou-se para esse solo uma penetração elevada, da ordem de 6mm do penetrômetro agulha e de 11mm do penetrômetro cone de 30 gramas. Entretanto, a expansão avaliada no ensaio CBR é praticamente nula (0,02% a 0,04%) ao redor da umidade ótima nas três energias de compactação(Quadro 5.11). Para este solo não houve uma correspondência entre a penetração dos penetrômetros (agulha e cones) e a expansão pelo procedimento tradicional, como constatados nos demais solos.

A fração de solo empregada no ensaio MP é o que passa na peneira 0,42mm (#nº.40) e na análise granulométrica pode-se observar que a quantidade que passou na peneira 0,42mm do total da amostra foi de apenas 29,45%. É possível, então, que a não constatação de expansão pelo procedimento tradicional seja devido à existência da fração grossa do solo ou pela não existência de teor mica neste solo.

Portanto, para a Unidade Geotécnica Cambissolo substrato granitóides, com horizonte B (Amostra 3: P#0,42mm = 83,92%) e horizonte C (Amostra 2: P#0,42mm = 82,16%) bem intemperizados, tendo mais que 80% da fração passante na peneira 0,42mm, ou seja, sem grande quantidade de fração grossa, houve uma correspondência da penetração do penetrômetro do ensaio das pastilhas com a expansão obtida no ensaio tradicional.

Para o horizonte C, saprolítico (saibro) não houve correspondência da penetração pelo Método das Pastilhas e a expansão pelo procedimento tradicional, pois a fração empregada no ensaio MP, que passou #0,42mm foi de 29,45% da fração total da amostra, ou seja, o ensaio MP pode avaliar praticamente 30% da amostra, o qual apresentou característica de solo expansivo. No entanto, pelo procedimento tradicional, não houve a constatação de expansão para este solo, ou seja, os 70% restante da fração total da amostra pode ter contribuído na avaliação desta propriedade.

5.5 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO, DCP E CBR DOS SOLOS REPRESENTATIVOS

Foram ensaiadas três amostras de solo da Unidade Geotécnica Cambissolo substrato Granitóide. Estas amostras são:

- Cambissolo – horizonte C – Morro do Ubatuba – Saibro (Amostra 1) – Jazida 1 - utilizada como revestimento primário;
- Cambissolo – horizonte C – Jardim Acarai (Amostra 2) – Jazida 5; e,
- Cambissolo – horizonte B – Jardim Acarai (Amostra 3) – Jazida 5.

5.5.1 Cambissolo–horizonte C – Morro do Ubatuba – Saibro (Amostra 1)

5.5.1.1 Resultados do Ensaio de Compactação e DCP

Foram realizados ensaios de compactação nas energias Normal, Intermediária e Modificada e, em cada corpo-de-prova da curva de compactação executou-se o ensaio DCP. Todos os corpos-de-prova do ensaio de compactação são moldados sem reuso de material e com secagem prévia até a umidade higroscópica (ω higroscópica). A umidade dos CPs foram obtidas após realização do ensaio de DCP, tirando-se duas porções de solo do centro do CP. A Figura 5.15 ilustra um ensaio DCP num CP moldado no cilindro CBR.



Figura 5.15: Ensaio DCP no cilindro CBR.

No Quadro 5.9 são apresentados o peso específico aparente seco (γ_d), a umidade de moldagem (ω), o índice de penetração do DCP (DN) para as 3 energias de compactação. No Quadro 5.10 são apresentados os valores de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d \text{ máximo}}$) e umidade ótima ($\omega_{ót.}$) de compactação de cada energia de compactação.

Quadro 5.9: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 1.

Energia Normal						ω higroscópica = 1,01%
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	
γ_d (KN/m ³)	18,24	18,93	18,98	18,81	17,72	
ω (%)	8,82	11,14	11,51	13,57	16,61	
DN (mm/golpe)	16,83	19,00	20,40	29,00	-	
Energia Intermediária						ω higroscópica = 1,20%
γ_d (KN/m ³)	18,82	19,30	19,64	19,41	19,23	
ω (%)	6,94	9,01	9,71	10,89	12,91	
DN (mm/golpe)	9,90	9,45	8,50	12,38	24,50	

Quadro 5.9: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 1 (continuação).

Energia Modificada					ω higroscópica = 1,13%
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
γ_d (KN/m ³)	19,43	19,56	19,97	19,86	19,50
ω (%)	4,96	7,31	8,82	10,81	12,84
DN (mm/golpe)	7,33	7,00	6,43	12,57	31,00

Quadro 5.10: Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima da Amostra 1.

Energia	Normal	Intermediária	Modificada
γ_d máximo (KN/m ³)	18,98	19,64	20,00
ω ót. (%)	11,51	9,71	9,15

A Figura 5.16 ilustra as curvas de compactações para as 3 energias de compactação, a curva de saturação ($S=100\%$), a umidade ótima (ponto vermelho) das respectivas curvas de compactação e a regressão linear do peso específico aparente seco máximo versus a umidade ótima, dada pela equação 5.1.

$$\gamma_d \text{ máximo} = -0,416 \omega_{\text{ót.}} + 23,753 \quad r^2 = 0,984 \quad n = 3 \quad \text{equação}$$

5.1

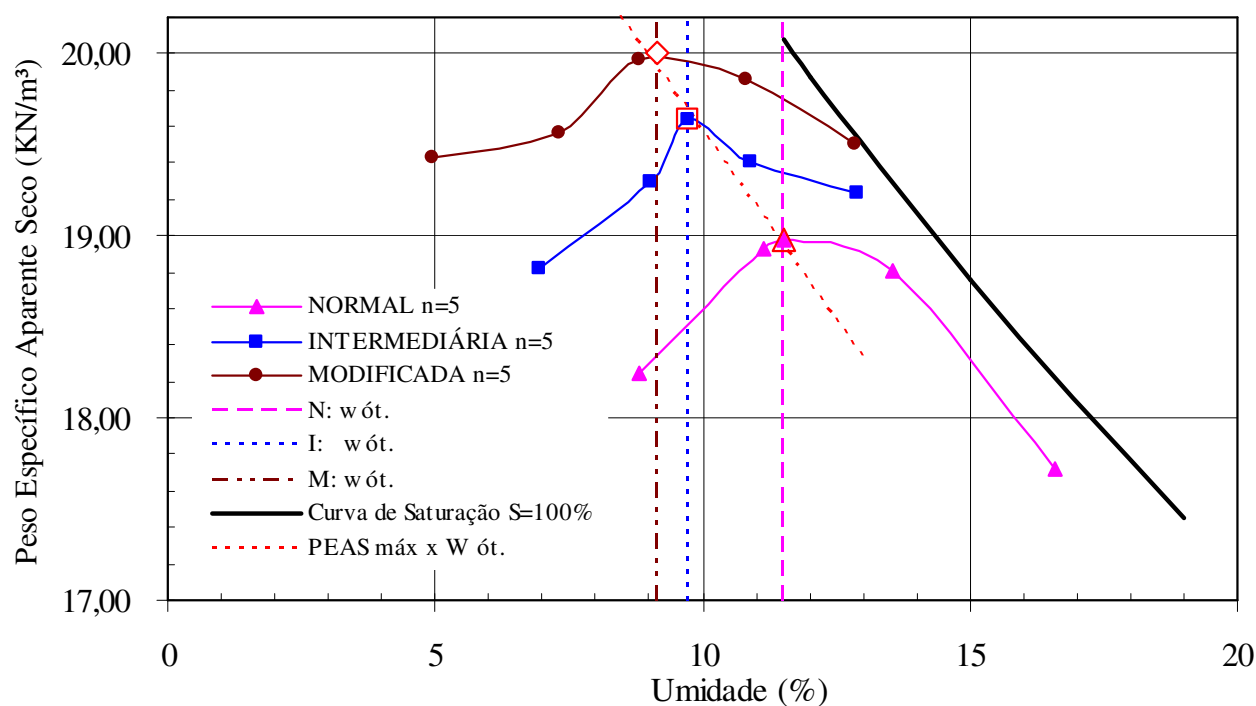


Figura 5.16: Curvas de compactação da Amostra 1.

a) *Relação de DN versus Umidade de Moldagem*

Na Figura 5.17 observa-se que o valor DN cresce com o aumento da umidade e que esta relação é bem definida no ramo úmido e no entorno da umidade ótima. No ramo seco, abaixo da umidade ótima, os valores de DN são praticamente constantes em cada energia. A Figura 5.17 mostra a variação do DN com a Umidade para as 3 curvas de compactação.

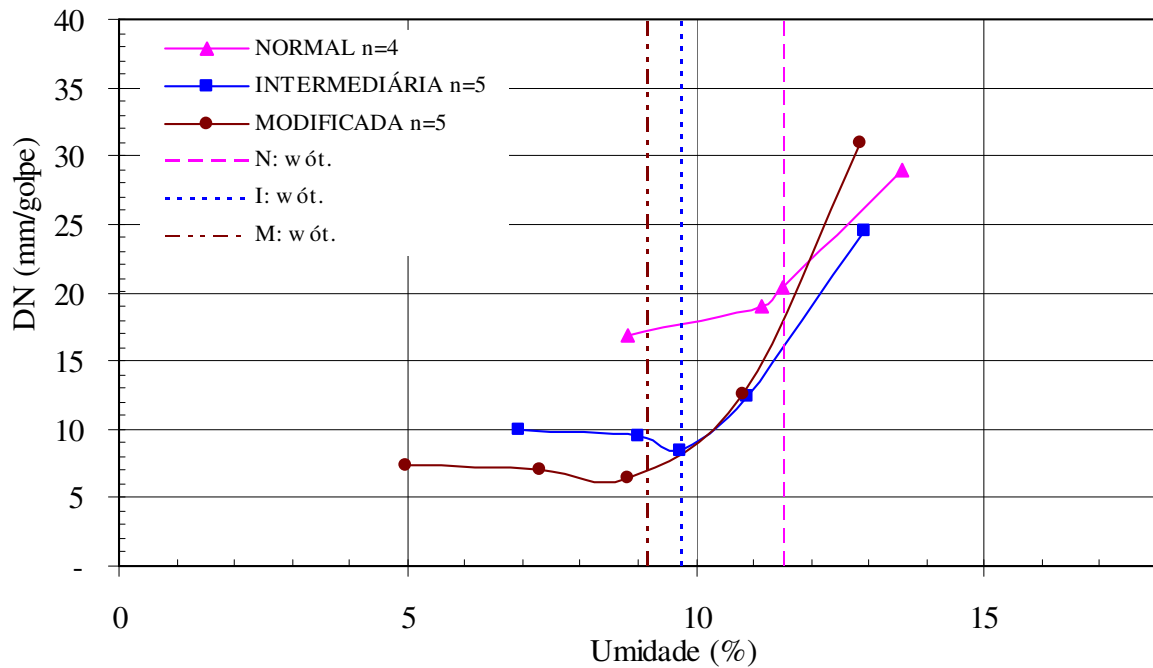


Figura 5.17: Variação de DN com a umidade da Amostra 1.

Essa constatação também foi observada por Alves (2002) em solos finos e granulares, e de acordo com a autora, “se a umidade estiver em níveis abaixo da umidade ótima, o DN obtido não será capaz de avaliar o grau de compactação do material”. Assim, a determinação de DN em solos com baixo teor de umidade (abaixo da umidade ótima), conduz a valores baixos de DN (o que indicaria elevada resistência do solo). Porém, ao saturá-los, geralmente ocorre uma queda significativa de sua resistência, passando a ter uma resistência muito baixa.

A relação entre DN e umidade dos CPs foi obtida através de análise de regressão linear simples, aplicando-se critérios estatísticos que permitem verificar se existe uma relação significativa entre as variáveis DN e umidade de moldagem através do parâmetro β_1 (coeficiente de regressão: inclinação), seguindo uma distribuição $t_{\alpha/2 (n-2)}$. As hipóteses nula e alternativa são:

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ (não existe relação entre X e Y).}$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \text{ (existe relação entre X e Y).}$$

Na Tabela 5.1 são apresentados os parâmetros estatísticos da relação DN versus umidade dos resultados do Quadro 5.9.

Tabela 5.1: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω da Amostra 1.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> <i>b_k</i>	<i>Erro</i> <i>padrão S_{bk}</i>	<i>t</i>	<i>Prob.</i>	<i>Conf.</i> <i>(%)</i>	<i>Se</i>	<i>n</i>	<i>r</i> ²	<i>t</i> _{0,025(n-2)}
Interseção	<i>b</i> ₀	0,3396	0,1511	2,25	4,42E-2	-	0,132	14	0,705	± 2,18
ω	<i>b</i> ₁	0,0791	0,0148	5,35	1,72E-4	99,98				

Na Tabela 5.1 observa-se que existe uma relação entre DN e ω , verificado pelo coeficiente de regressão b_1 , sendo $t > t_{0,025(12)}$, ou seja, $5,35 > 2,18$, rejeita-se a hipótese nula, para um nível de confiança de 99,98%, maior que o nível de confiança adotado de 95% (significância $\alpha=0,05$). Também, obtêm-se um coeficiente de determinação (r^2) de 0,705, o que significa que 70,50% da variação de DN pode ser explicada pela variação da umidade, quando se consideram todos os pontos do ramo seco e úmido das curvas de compactação das três energias. A relação entre DN e ω é dada pelo modelo representado na equação 5.2, ilustrada na Figura 5.18.

$$\log DN = 0,0791 \times \omega + 0,3396 \quad r^2 = 0,705 \quad \text{equação 5.2}$$

para o intervalo de $5\% < \omega \leq 14\%$, com DN e ω já definidos.

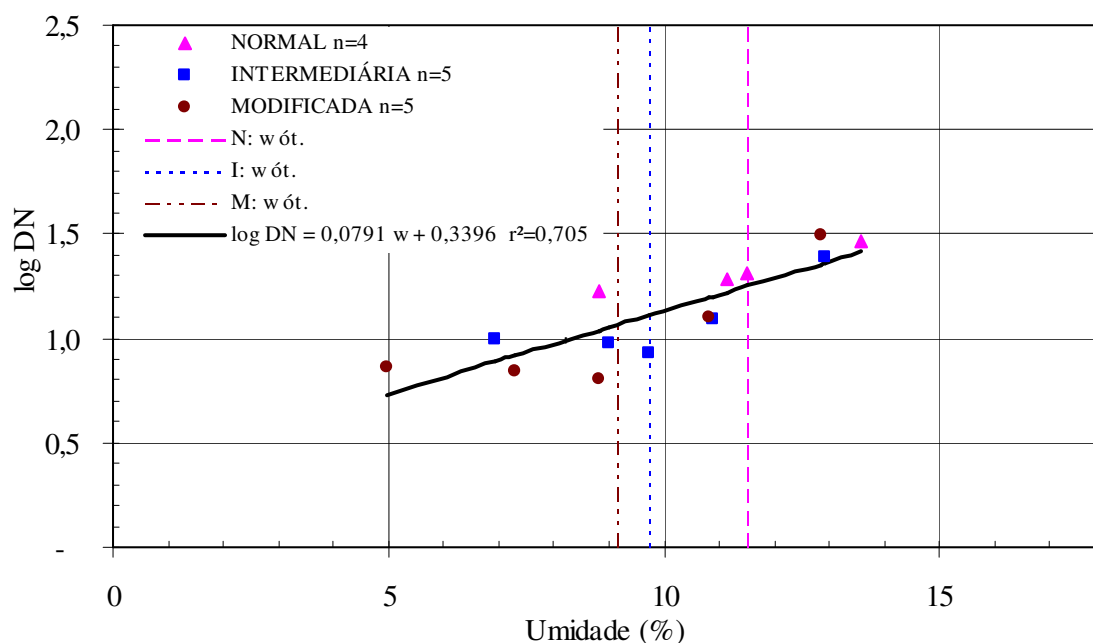


Figura 5.18: Variação do DN com a umidade da Amostra 1.

A relação DN e umidade, também foi observada por Smith (1988) com dados de campo de uma obra após 5 anos de sua construção, verificando que a umidade estava em equilíbrio, ao redor da ótima, geralmente maior que a de construção.

Foi constatado na pesquisa que, caso se elimine os pares de pontos DN x ω quando a umidade está muito abaixo (ramo seco) da umidade ótima [2 pontos percentuais (2 p.p.), por exemplo, onde o DN é pouco afetado pela umidade] observa-se uma melhora significativa no r^2 da relação.

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores de DN e umidade a serem relacionados no intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido. Na Tabela 5.3 são apresentados os resultados da análise estatística da Tabela 5.2. Pode-se verificar um aumento da existência da relação entre DN e ω dada pela inclinação b_1 , com $t = 8,78 > 2,26$ para um nível de confiança de 100% e, também, um aumento do coeficiente de determinação (r^2) para 0,895, ou seja, agora praticamente 90% da variação de DN pode ser explicada pela variação da umidade do solo. Comparando as Figuras 5.18 e 5.19, verificou-se que a regressão linear DN x ω melhorou, excluindo-se os valores de DN abaixo de 2 p.p. no ramo seco.

Tabela 5.2: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

DN (mm/golpe)	ω (%)
Energia Normal	$\omega_{ót.} = 11,51\%$
19,00	11,14
20,40	11,51
29,00	13,57
Energia Intermediária	$\omega_{ót.} = 9,71\%$
9,45	9,01
8,50	9,71
12,38	10,89
24,50	12,91
Energia Modificada	$\omega_{ót.} = 9,15\%$
7,00	7,31
6,43	8,82
12,57	10,81

31,00	12,84
-------	-------

Tabela 5.3: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p.abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	<i>Conf.</i> (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	- 0,1471	0,1503	-0,98	3,53E-1	-	0,084	11	0,895	$\pm 2,26$
ω	b_I	0,1207	0,0137	8,78	1,05E-5	100,00				

A relação entre DN e ω para o intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido é dada pela equação 5.3, sendo esta a melhor relação obtida:

$$\log DN = 0,1207 \times \omega - 0,1471 \quad r^2 = 0,895 \quad \text{equação 5.3}$$

para o intervalo de $7\% < \omega \leq 14\%$, com DN e ω já definidos anteriormente.

A Figura 5.19 ilustra a variação de DN com a umidade da Amostra 1.

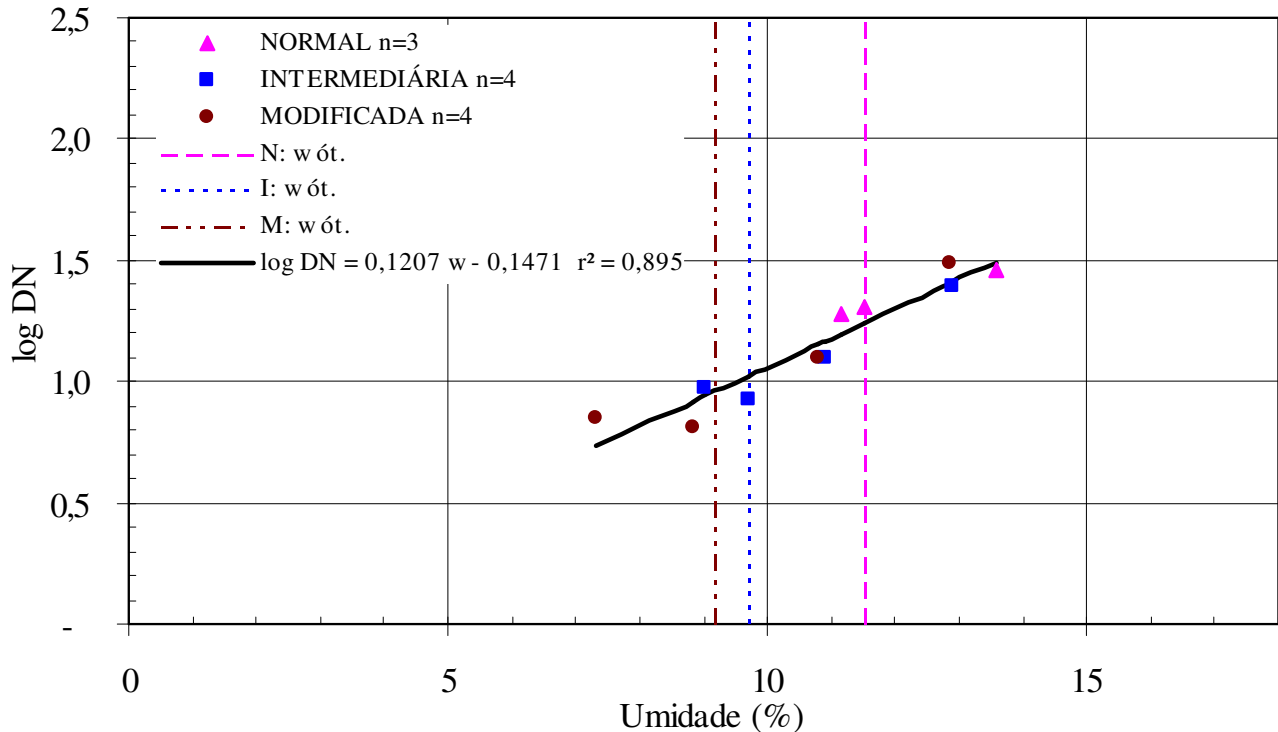


Figura 5.19: Variação do DN com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

b) Relação DN versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco

Para verificar se o peso específico aparente seco (γ_d) tem influência na determinação de DN, uma vez que a variável umidade (ω) esteja incluída no modelo, faz-se uso da regressão múltipla e seus critérios. Foi empregado na avaliação das variáveis independentes (ω e γ_d) do modelo, o critério que analisa os coeficientes da regressão múltipla b_1 e b_2 - as inclinações, seguindo uma distribuição $t_{\alpha/2 (n-p-1)}$. As hipóteses são:

Variável $X_1=\omega$: $H_0: \beta_1 = 0$ (não existe relação entre X_1 e Y, tendo sido incluído X_2 no modelo).
 $H_1: \beta_1 \neq 0$ (existe relação entre X_1 e Y, tendo sido incluído X_2 no modelo).

Variável $X_2=\gamma_d$: $H_0: \beta_2 = 0$ (não existe relação entre X_2 e Y, tendo sido incluído X_1 no modelo).
 $H_1: \beta_2 \neq 0$ (existe relação entre X_2 e Y, tendo sido incluído X_1 no modelo).

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores de DN, umidade e peso específico aparente seco correspondente ao intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido.

Na análise dos parâmetros estatísticos da Tabela 5.5 verifica-se pelo coeficiente de regressão b_2 , que não existe relação significativa da variável peso específico aparente seco na definição de DN, uma vez que a umidade esteja incluída no modelo, sendo $t > t_{0,025(8)}$, ou seja, $-1,83 > -2,31$ não rejeitando a hipótese nula, para um nível de confiança de 89,48%, menor que o nível de confiança adotado de 95% (significância de $\alpha=0,05$).

Portanto, verifica-se para a Unidade Geotécnica Cambissolo, substrato granitóide, horizonte C, saprolítico (saibro), que estudando o solo compactado, é possível estimar o valor de DN a partir da umidade com um nível de confiança de 100 %, dada pela equação 5.3, no intervalo de menos pois pontos percentuais da umidade ótima e ramo úmido, sendo o suficiente para a investigação geotécnica. Como foi constatado, o acréscimo do peso específico aparente seco no modelo não influencia na definição de DN, com um nível de confiança de 95%. Isso é uma constatação importante para a determinação do DN em campo, pois a obtenção do peso específico em campo, a profundidades variáveis é extremamente dificultosa. O ganho no r^2 do modelo seria muito pequeno diante dos gastos necessários para determinar o peso específico em campo.

Tabela 5.4: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

DN (mm/golpe)	ω moldagem (%)	γ_d (KN/m ³)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 11,51\%$		
19,00	11,14	18,93
20,40	11,51	18,98
29,00	13,57	18,81
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 9,71\%$		
9,45	9,01	19,30
8,50	9,71	19,64
12,38	10,89	19,41
24,50	12,91	19,23
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 9,15\%$		
7,00	7,31	19,56
6,43	8,82	19,97
12,57	10,81	19,86
31,00	12,84	19,50

Tabela 5.5: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla DN x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> <i>b_k</i>	<i>Erro</i> <i>padrão S_{bk}</i>	<i>t</i>	<i>Prob.</i>	<i>Conf.</i> <i>(%)</i>	<i>Se</i>	<i>n</i>	<i>r</i> ²	<i>t</i> _{0,025 (n-p-1)}
Interseção	<i>b</i> ₀	7,9624	4,4422	1,79	1,11E-1	-	0,075	11	0,926	± 2,31
ω	<i>b</i> ₁	0,1058	0,0147	7,19	9,37E-5	99,99				
logγ _d <i>b</i> ₂		-6,1750	3,3810	-1,83	1,05E-1	89,48				

5.5.1.2 Resultados do Ensaio de Compactação e CBR

A moldagem dos CPs para o ensaio de CBR não foram realizadas no mesmo instante que a moldagem dos CPs para determinação de DN. Porém, a moldagem dos CPs para o CBR foram realizadas para as mesmas condições de energias, quantidades de peso de solo seco, de umidade higroscópica e água adicionada nos ensaios de compactação. No Quadro 5.11 são apresentados os resultados dos ensaios de compactação, CBR e Expansão da Amostra 1.

Quadro 5.11: Resultados dos ensaios de compactação e CBR da Amostra 1.

Energia Normal			ω higroscópica = 0,97%		
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
γ_d (KN/m ³)	17,53	17,72	17,83	18,62	18,29
ω (%)	4,95	6,77	8,77	12,46	13,46
CBR (%)	6,00	12,60	16,40	25,10	13,30
EXPANSÃO (%)	0,12	0,06	0,02	0,00	0,00
ω após 4 dias (%)	14,56	12,83	12,51	11,31	12,37
Energia Intermediária			ω higroscópica = 0,96%		
γ_d (KN/m ³)	18,38	18,54	18,90	19,53	18,75
ω (%)	4,94	6,80	8,85	10,69	12,65
CBR (%)	17,80	29,80	45,40	32,90	17,40
EXPANSÃO (%)	0,19	0,10	0,04	0,00	0,00
ω após 4 dias (%)	11,68	11,01	10,10	10,50	11,94
Energia Modificada			ω higroscópica = 0,94%		
γ_d (KN/m ³)	18,89	18,97	19,61	19,66	19,01
ω (%)	3,43	4,94	8,73	10,57	12,26
CBR (%)	18,20	42,30	69,10	33,80	11,60
EXPANSÃO (%)	0,25	0,18	0,04	0,00	0,00
ω após 4 dias (%)	11,76	10,27	8,73	10,11	11,82

a) Relação CBR versus Umidade de Moldagem

A Figura 5.20 ilustra a variação de CBR com a umidade de moldagem. Na Figura 5.20 observa-se uma tendência de variação do CBR com a umidade dos CPs ao redor da umidade ótima e ramo úmido para as 3 energias de compactação. No ramo seco, esta tendência não é observada.

Adotando-se o mesmo critério aplicado para a relação DN x ω , procedeu-se à análise estatística da relação CBR x ω . Na Tabela 5.6 são apresentados os valores de CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido da curva de compactação. Na Tabela 5.7 são apresentados os resultados da análise estatística referentes aos dados Tabela 5.6. Pode-se verificar que existe uma relação significativa entre CBR e ω dada pela inclinação b_1 com valor de $t = -5,49 < -2,45$ a um nível de confiança de 99,85%.

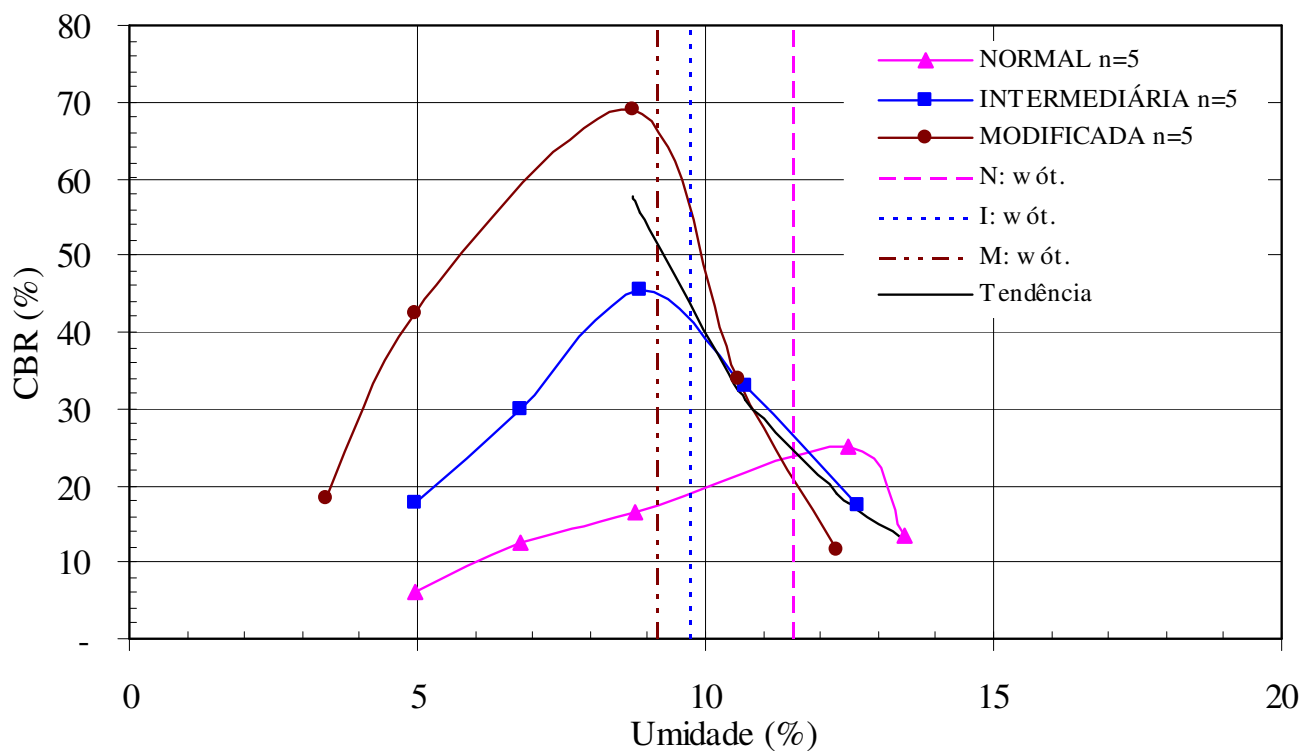


Figura 5.20: Variação de CBR com a umidade da Amostra 1.

A relação entre CBR e ω é dada pela equação 5.4 e mostrada na Figura 5.21.

$$\log CBR = 2,9580 - 0,1371 \times \omega \quad r^2 = 0,834 \quad \text{equação 5.4}$$

para o intervalo de $8\% < \omega \leq 14\%$, com CBR e ω já definidos anteriormente.

Tabela 5.6: CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

CBR (%)	ω (%)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 11,51\%$	
25,10	12,46
13,30	13,46
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 9,71\%$	
45,40	8,85
32,90	10,69
17,40	12,65
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 8,73\%$	
69,10	8,73
33,80	10,57
11,60	12,26

Tabela 5.7: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	2,9580	0,2828	10,46	4,48E-5	-	0,118	8	0,834	$\pm 2,45$
ω	b_1	-0,1371	0,0250	-5,49	1,52E-3	99,85				

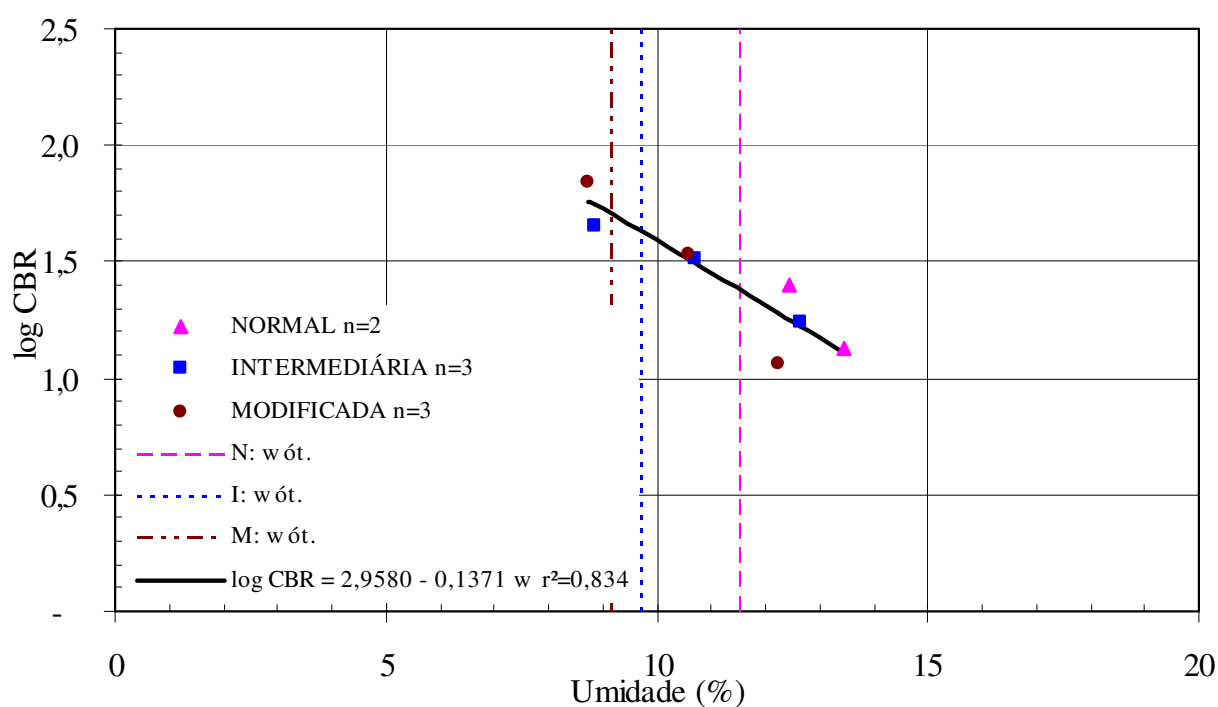


Figura 5.21: Variação de CBR com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

b) Relação CBR versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco

Para verificar se o peso específico aparente seco (γ_d) tem influência na determinação de CBR, uma vez que a variável umidade (ω) esteja incluída no modelo, aplica-se análise de regressão múltipla e seus critérios definidos anteriormente.

Na Tabela 5.8 são apresentados os valores de CBR, umidade e peso específico aparente seco correspondente ao intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido. Na Tabela 5.9 são apresentados os resultados estatísticos da Tabela 5.8. Na análise dos parâmetros estatísticos, pode-se verificar pelo coeficiente de regressão b_2 , que não existe relação significativa da variável peso específico aparente seco na definição do CBR, uma vez que a umidade esteja incluída no modelo, dado por $t = 0,08 < 2,57$.

Portanto, para as condições definidas, estando o material compactado com energias semelhantes às empregadas na pesquisa, pode-se estimar o valor de CBR pela variável umidade, uma vez que não existe uma relação significativa entre o peso específico aparente seco e o CBR, estando a variável umidade no modelo.

Tabela 5.8: CBR, ω de moldagem e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

CBR (%)	ω (%)	γ_d (KN/m ³)
Energia Normal	$\omega_{ót.} = 11,51\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 18,98$
25,10	12,46	18,62
13,30	13,46	18,29
Energia Intermediária	$\omega_{ót.} = 9,71\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 19,64$
45,40	8,85	18,90
32,90	10,69	19,53
17,40	12,65	18,75
Energia Modificada	$\omega_{ót.} = 9,15\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 20,00$
69,10	8,73	19,61
33,80	10,57	19,66
11,60	12,26	19,01

Tabela 5.9: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla de CBR x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025\alpha(n-p-1)}$
Interseção	b_0	2,3347	7,8413	0,30	7,78E-1	-				

ω	b_I	0,1350	0,0382	-3,53	1,67E-2	98,33	0,129	8	0,834	$\pm 2,57$
$\log \gamma_d$ b_2		0,4685	5,8892	0,08	9,40E-1	6,03				

c) Relação CBR e DN

Para a definição da relação entre CBR e DN será adotado o modelo que já foi analisado e empregado por diversos pesquisadores (Smith e Pratt, 1983; Hasim e Kasim, 1987; Harison, 1987, 1989; Ponce, Guzmân Z.L. e Guzmân Z.E., 1991; Karunaprema e Edirisinghe, 2002). O modelo é dado pela equação 5.5:

$$\log CBR = c + a \times \log DN \quad \text{equação 5.5}$$

Onde:

CBR e DN já foram definidos anteriormente e, c e a são parâmetros de regressão linear do solo ou Unidade Geotécnica dos resultados de laboratório.

Foi constatado pelos critérios estatísticos que estando o solo compactado, o peso específico aparente seco não tem uma relação significativa com as resistências DN e CBR, uma vez que a umidade de moldagem esteja incluída no modelo. Como se pretende relacionar as resistências CBR e DN, é preciso garantir que ambas tenham sido determinadas nas mesmas condições de umidade.

A Figura 5.22 ilustra, em um mesmo gráfico, as resistências CBR e DN versus umidade de moldagem. Neste gráfico, os pontos DN x umidade ficaram na ordem inversa do apresentado na Figura 5.17, alterando apenas o sinal de DN. Esse gráfico auxilia na definição do CBR para as umidades correspondentes nas quais as resistências DN foram obtidas e vice-versa.

Na Tabela 5.10 são apresentados os valores de resistências de CBR e DN para as mesmas condições de umidade. Os valores em negrito correspondem aos valores de resistências obtido no gráfico da Figura 5.22.

A Tabela 5.11 apresenta dos resultados da análise estatística. Nela, verifica-se que existe uma relação significativa entre CBR e DN dada pela inclinação b_I , com $t = -9,31 < -2,23$ a um nível de confiança de 100,00%.

A relação entre CBR e DN é dada pela equação 5.6 e ilustrada na Figura 5.23.

$$\log CBR = 2,6209 - 1,0040 \times \log DN \quad r^2 = 0,897 \quad \text{equação 5.6}$$

com CBR e DN já definidos anteriormente e é válida para o intervalo de 6mm/golpe < DN ≤ 28mm/golpe, correspondentes ao intervalo de umidade de 7% < ω ≤ 14%.

Portanto, é possível estimar o valor da resistência CBR a partir do valor de DN de acordo com o modelo da equação 5.6.

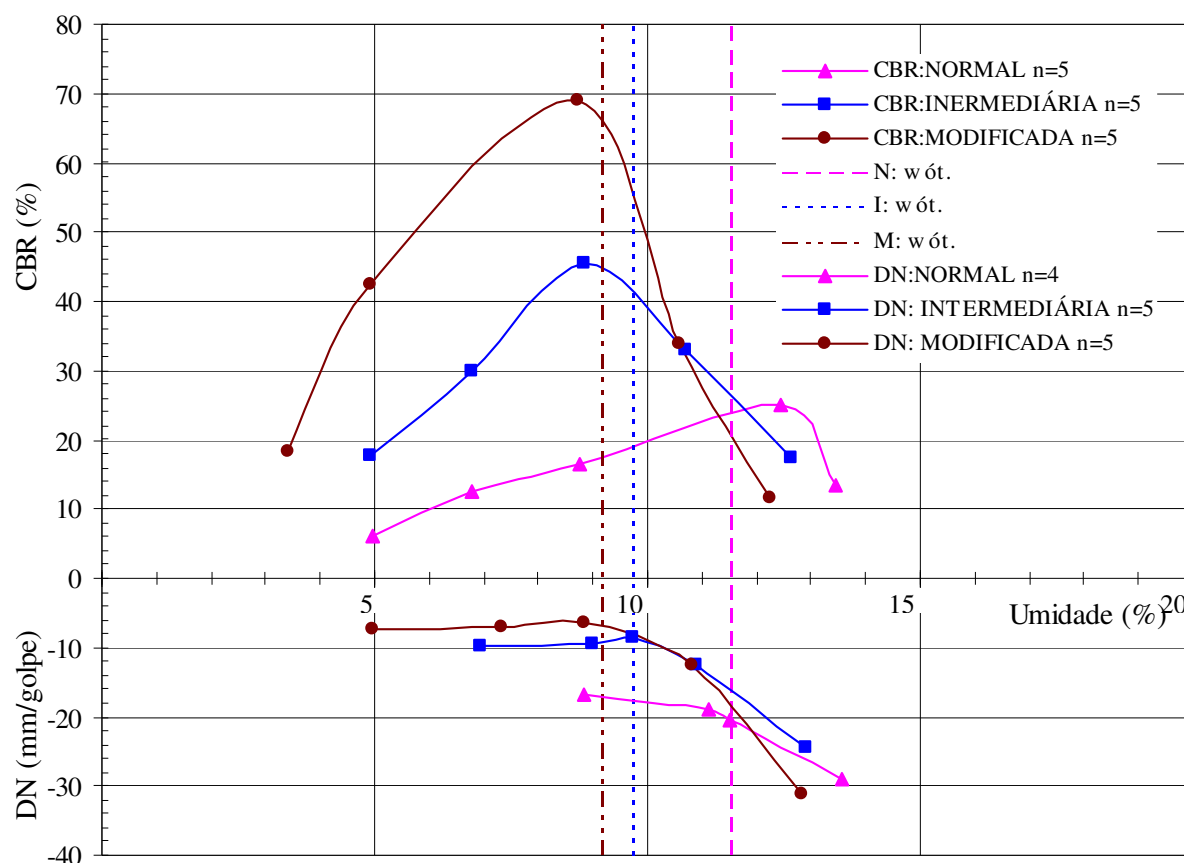


Figura 5.22: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 1.

Tabela 5.10: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da ω_{ót.} e ramo úmido da Amostra 1.

DN (mm/golpe)	ω (%)	CBR (%)
Energia Normal		
	ω _{ót.} = 11,51%	γ _d máx. = 18,98
19,00	11,14	23,00
20,40	11,51	24,00
24,20	12,46	25,10
28,50	13,46	13,30
Energia Intermediária		
	ω _{ót.} = 9,71%	γ _d máx. = 19,64

9,45	9,01	45,5
8,50	9,71	41,5
12,38	10,89	31,3
23,00	12,65	17,40

Tabela 5.10: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1 (continuação).

DN (mm/golpe)	ω (%)	CBR (%)
Energia Modificada	$\omega_{ót.} = 9,15\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 20,00$
7,00	7,31	63,20
6,43	8,82	69,00
12,57	10,81	30,00
25,00	12,26	11,60

Tabela 5.11: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 1.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> <i>b_k</i>	<i>Erro</i> <i>padrão S_{bk}</i>	<i>t</i>	<i>Prob.</i>	<i>Conf.</i> (%)	<i>Se</i>	<i>n</i>	<i>r</i> ²	<i>t</i> _{0,025(n-2)}
Interseção	<i>b₀</i>	2,6209	0,1274	20,56	1,63E-9	-	0,083	12	0,897	± 2,23
logDN	<i>b_I</i>	-1,0040	0,1078	-9,31	3,04E-6	100,00				

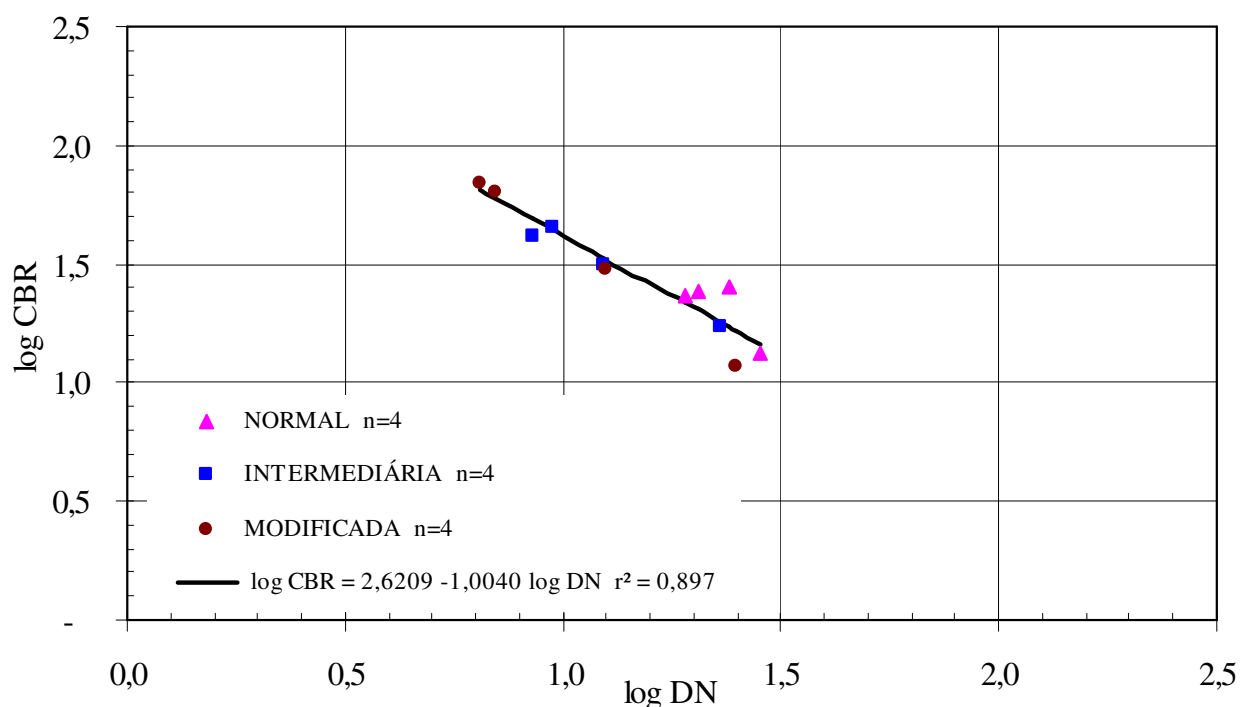


Figura 5.23: Variação CBR x DN da Amostra 1.

5.5.2 Cambissolo – horizonte C – bairro Jardim Acarai (Amostra 2)

5.5.2.1 Resultados do Ensaio de Compactação e DCP

No Quadro 5.12 são apresentados o peso específico aparente seco (γ_d), a umidade de moldagem (ω) e o índice de penetração do DCP (DN) compactados nas 3 energias. No Quadro 5.13 são apresentados os valores do peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d \text{ máximo}}$) e umidade ótima ($\omega_{\text{ót.}}$) de compactação nas energias correspondentes. A Figura 5.24 ilustra as curvas de compactações nas energias Normal, Intermediária e Modificada, a curva de saturação ($S=100\%$), a umidade ótima (ponto vermelho) das respectivas curvas de compactação e a regressão linear do peso específico aparente seco máximo versus a umidade ótima nas três energias, dada pela equação 5.7.

$$\gamma_{d \text{ máximo}} = -0,277 \omega_{\text{ót.}} + 21,326 \quad r^2 = 0,960 \quad n = 3 \quad \text{equação 5.7}$$

Quadro 5.12: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 2.

Energia Normal								ω higroscópica = 1,34%
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
γ_d (KN/m ³)	14,06	14,46	14,84	15,02	14,95	14,90	14,34	13,68
ω (%)	13,51	16,00	18,49	20,98	23,30	25,41	28,36	30,92
DN (mm/golpe)	25,75	25,50	25,25	29,67	34,00	50,00	103,00	-
Energia Intermediária								ω higroscópica = 1,31%
γ_d (KN/m ³)	15,73	16,01	16,16	15,86	15,26			
ω (%)	14,88	17,24	19,51	22,18	24,81			
DN (mm/golpe)	15,67	15,50	20,40	33,00	53,00			
Energia Modificada								ω higroscópica = 1,48%
γ_d (KN/m ³)	15,99	16,84	17,07	16,94	16,71	16,62	15,83	
ω (%)	10,26	12,91	14,85	17,55	18,18	19,64	22,74	
DN (mm/golpe)	13,71	9,62	10,75	15,80	16,80	24,00	46,50	

Quadro 5.13: Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima da Amostra 2.

Energia	Normal	Intermediária	Modificada
$\gamma_{d \text{ máximo}}$ (KN/m ³)	15,04	16,16	17,06
$\omega_{\text{ót.}}$ (%)	22,20	19,50	15,10

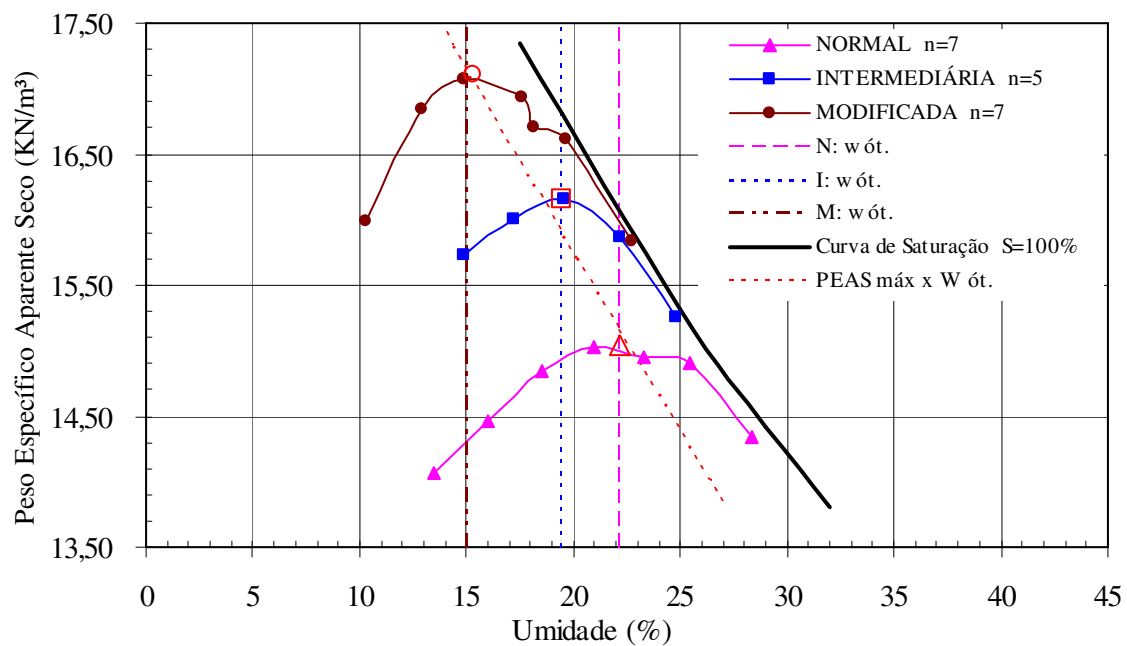


Figura 5.24: Curvas de compactação da Amostra 2.

a) Relação de DN versus Umidade de Moldagem

A Figura 5.25 mostra a variação do DN com a umidade.

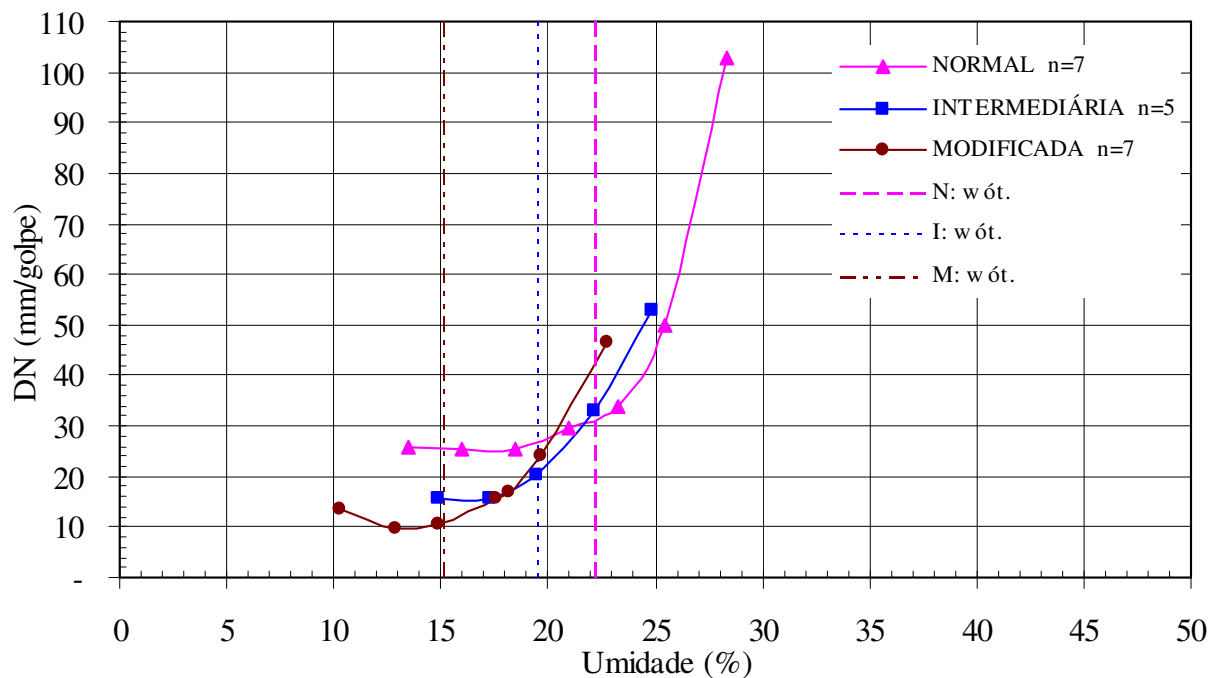


Figura 5.25: Variação de DN com a umidade da Amostra 2.

Também, observa-se neste solo que as umidades abaixo da ótima apresentam um DN praticamente constante para cada energia.

Empregando-se a regressão linear simples e seus critérios já definidos, obtêm-se os parâmetros estatísticos da relação DN x umidade de moldagem dos dados do Quadro 5.12, indicado na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω da Amostra 2.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	0,4748	0,1245	3,81	1,39E-3	-	0,128	19	0,773	$\pm 2,11$
ω	b_1	0,0484	0,0064	7,60	7,27E7	100,00				

Na Tabela 5.12, observa-se que existe uma relação entre DN e umidade de moldagem, verificado pelo coeficiente de regressão b_1 , sendo $t > t_{0,025(17)}$, ou seja, $7,60 > 2,11$ a um nível de confiança de 100,00%. A relação entre DN e ω é dada pela equação 5.8 e ilustrada na Figura 5.26.

$$\log DN = 0,0484 \times \omega + 0,4748 \quad r^2 = 0,773 \quad \text{equação 5.8}$$

com DN e ω já definidos anteriormente e válida para o intervalo de $10\% < \omega \leq 28\%$.

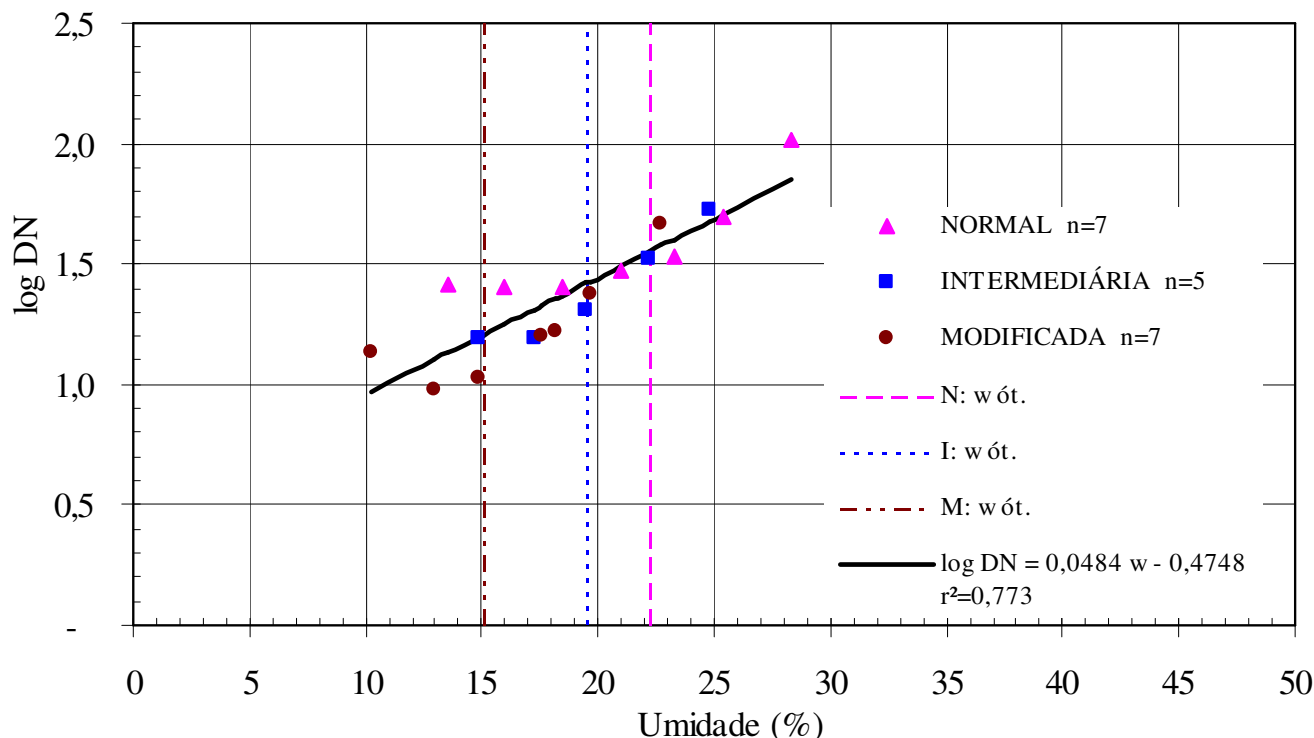


Figura 5.26: Variação de DN com a umidade da Amostra 2.

Também, observa-se na Figura 5.26 uma tendência de uma melhor relação entre DN e umidade de moldagem para os pontos ao redor da umidade ótima e ramo úmido das curvas de compactação. Assim, empregando-se o mesmo procedimento adotado para a Amostra 1, realizou-se a análise estatística considerando-se os pontos correspondente aos 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido das curvas de compactação.

Na Tabela 5.13 são apresentados os valores de DN e umidade correspondente aos 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido das curvas de compactação e, na Tabela 5.14 são apresentados os parâmetros estatísticos da regressão linear DN e umidade relativos a Tabela 5.13.

Tabela 5.13: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

DN (mm/golpe)	ω (%)
Energia Normal	$\omega_{ót.} = 22,20\%$
29,67	20,98
34,00	23,30
50,00	25,41
103,00	28,36
Energia Intermediária	$\omega_{ót.} = 19,50\%$
20,40	19,51
33,00	22,18
53,00	24,81
Energia Modificada	$\omega_{ót.} = 15,10\%$
10,75	14,85
15,80	17,55
16,80	18,18
24,00	19,64
46,50	22,74

Tabela 5.14: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	-0,0412	0,0867	-0,48	6,45E-1	-	0,050	12	0,969	$\pm 2,23$
ω	b_1	0,0709	0,0040	17,81	6,64E-9	100,00				

Verifica-se, nesta Tabela, um aumento da existência da relação entre DN e ω de moldagem dada pela inclinação b_I , sendo $t = 17,81 > 2,23$ para um nível de confiança de 100% e, também, um aumento do coeficiente de determinação para 0,969, ou seja, 96,90% da variação de DN pode ser explicado pela variação da umidade para esse solo.

Observa-se graficamente (entre as Figura 5.26 e 5.27) uma melhora na regressão linear quando excluem-se os pontos abaixo de 2 p.p. da umidade ótima no ramo seco. A relação entre DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido é dado pela equação 5.9 e ilustrada na Figura 5.27.

$$\log DN = 0,0709 \times \omega - 0,0412 \quad r^2 = 0,969 \quad \text{equação 5.9}$$

com DN e ω já definidos e válida para o intervalo de $15\% < \omega \leq 28\%$.

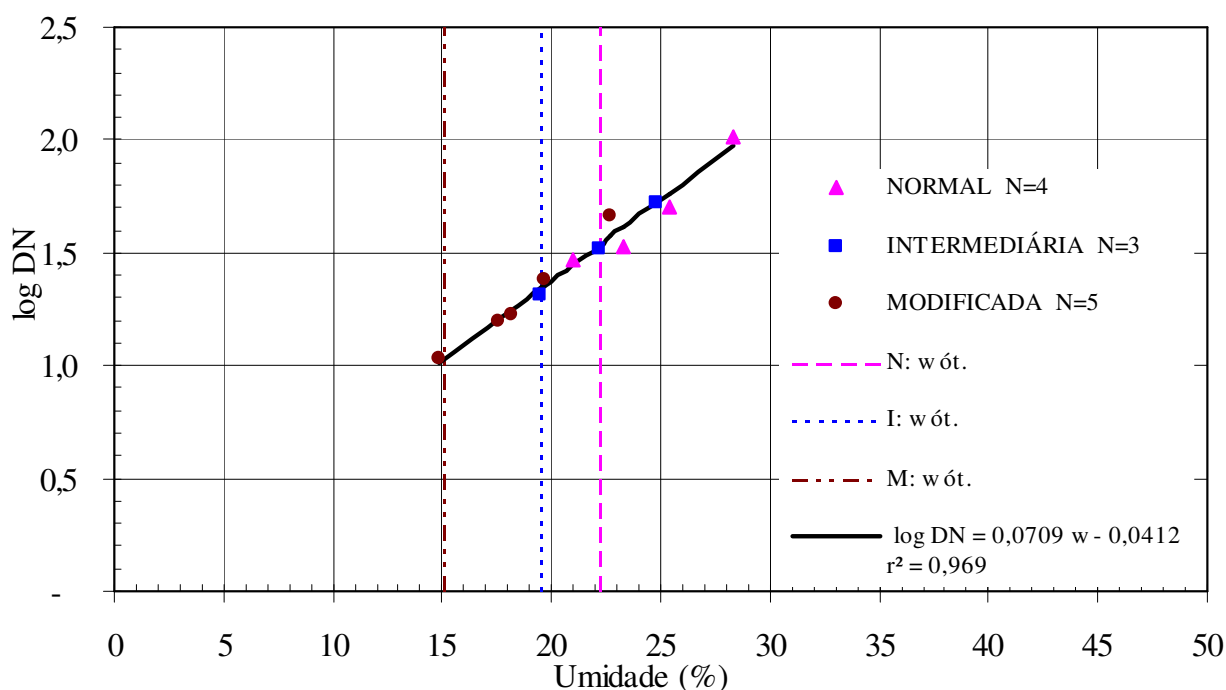


Figura 5.27: Variação de DN com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

Portanto, estando o solo compactado com energias semelhantes às empregadas nesta pesquisa é possível determinar DN ao redor da umidade ótima e ramo úmido, conhecendo-se a umidade do solo.

b) *Relação DN versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco*

Para verificar se o peso específico aparente seco (γ_d) tem influência na determinação de DN, uma vez que a variável umidade de moldagem (ω) esteja incluída no modelo, também, empregou-se a regressão múltipla e seus critérios já definidos anteriormente.

Na Tabela 5.15 são apresentados os valores de DN, umidade de moldagem e peso específico aparente seco no intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido para regressão múltipla.

Tabela 5.15: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

DN (mm/golpe)	ω (%)	γ_d (KN/m ³)
Energia Normal	$\omega_{ót.} = 22,20\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 15,04$
29,67	20,98	15,02
34,00	23,30	14,95
50,00	25,41	14,90
103,00	28,36	14,34
Energia Intermediária	$\omega_{ót.} = 19,50\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 16,16$
20,40	19,51	16,16
33,00	22,18	15,86
53,00	24,81	15,26
Energia Modificada	$\omega_{ót.} = 15,10\%$	$\gamma_d \text{ máx.} = 17,06$
10,75	14,85	17,07
15,80	17,55	16,94
16,80	18,18	16,71
24,00	19,64	16,62
46,50	22,74	15,83

A Tabela 5.16 apresenta os resultados da análise estatística da Tabela 5.15.

Tabela 5.16: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla DN x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-p-1)}$
Interseção	b_0	-1,6200	1,9941	-0,81	4,38E-1	-	0,051	12	0,971	$\pm 2,26$
ω	b_1	0,0781	0,0100	7,85	2,58E-5	100,00				
$\log\gamma_d$ b_2		1,1887	1,4999	0,79	4,48E1	55,16				

Na análise dos parâmetros estatísticos, verifica-se pelo coeficiente de regressão b_2 que não existe relação significativa da variável peso específico aparente seco na definição de DN, uma vez que a umidade esteja incluída no modelo, dado por $t = 0,79 < 2,26$, para um nível de confiança de 55,16%.

5.5.2.2 Resultados do Ensaio de Compactação e CBR

Para esta amostra, a moldagem dos CPs para o ensaio de CBR não foi realizado no mesmo instante que a moldagem dos CPs para determinação de DN. Porém, a moldagem dos CPs de CBR foram realizadas para as mesmas condições de energias, quantidades de peso de solo seco, umidade higroscópica, água adicionada no ensaio de compactação e determinação do DCP. No Quadro 5.14 são apresentados os resultados do ensaio de compactação, CBR e Expansão.

Quadro 5.14: Resultados dos ensaios de compactação e CBR da Amostra 2.

Energia Normal				ω higroscópica = 1,04%	
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
γ_d (KN/m ³)	13,69	14,45	14,55	14,73	13,93
ω (%)	13,60	19,04	21,23	25,41	28,36
CBR (%)	1,48	2,13	3,67	2,80	1,45
EXPANSÃO (%)	4,89	4,37	3,50	2,05	1,43
ω após 4 dias (%)	31,07	28,12	25,72	26,11	28,76
Energia Intermediária				ω higroscópica = 1,00%	
γ_d (KN/m ³)	15,40	15,66	15,52	15,82	14,78
ω (%)	13,96	16,80	19,74	21,79	25,07
CBR (%)	2,20	3,10	4,90	4,10	3,00
EXPANSÃO (%)	6,04	5,81	4,66	3,07	1,61
ω após 4 dias (%)	25,67	23,75	22,60	23,42	25,10
Energia Modificada				ω higroscópica = 1,42%	
γ_d (KN/m ³)	15,64	16,09	16,51	16,48	16,16
ω (%)	10,61	13,23	14,55	16,14	20,17
CBR (%)	1,50	2,20	2,70	2,90	4,90
EXPANSÃO (%)	7,50	7,05	6,49	5,95	3,28
ω após 4 dias (%)	26,50	23,47	21,92	21,71	21,10

Os baixos valores de CBR obtidos na energia Modificada, indica que este material não aceita compactação com energias elevadas.

a) *Relação CBR versus Umidade de Moldagem*

A Figura 5.28 ilustra a variação de CBR com a umidade de moldagem da Amostra 2.

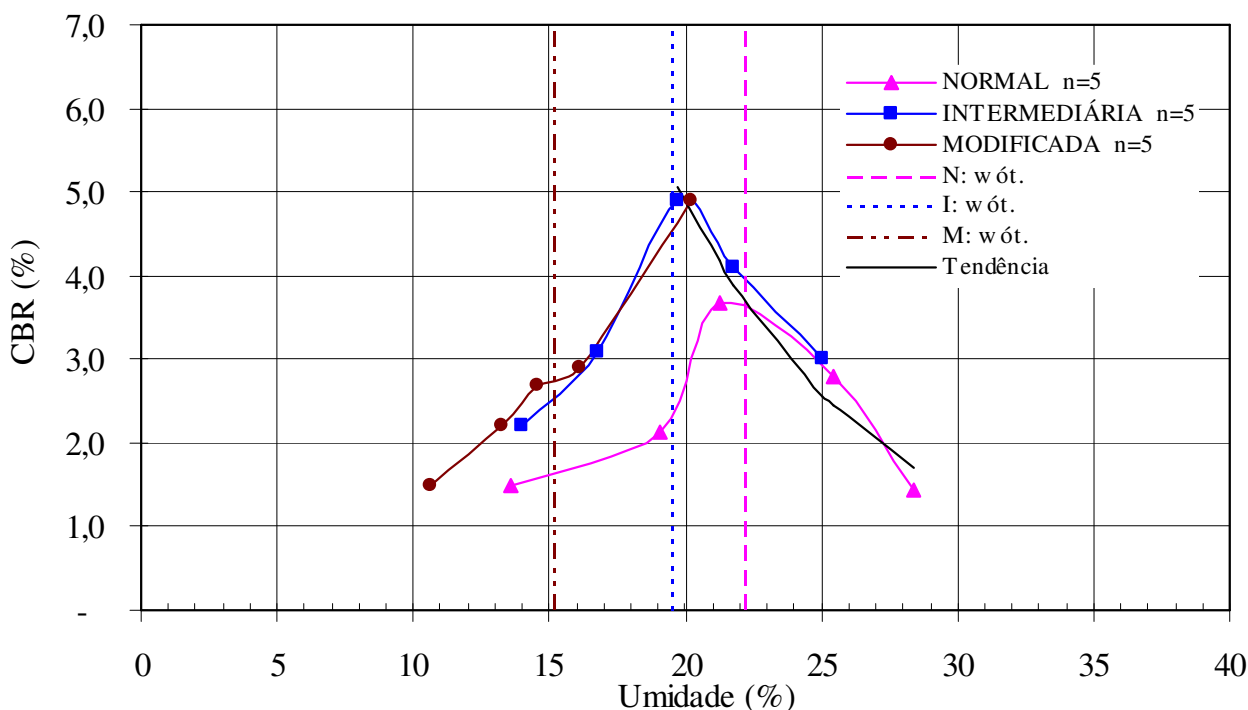


Figura 5.28: Variação de CBR com a umidade da Amostra 2.

Observa-se na Figura 5.28 que as curvas correspondentes as energias Normal e Intermediária apresentam comportamento típico, no entanto, para a energia Modificada isso não aconteceu. No Quadro 5.14, verifica-se que na energia Modificada obteve-se os maiores valores expansão para esse solo, o que pode ter influenciado na obtenção de CBR menores que nas demais energias. Os valores de CBR na energia Modificada não serão considerados na análise estatística do CBR com a umidade.

Verifica-se, ainda, na Figura 5.28 uma tendência de variação dos pontos CBR com a umidade ao redor da umidade ótima e ramo úmido para a energia Normal e Intermediária. No ramo seco esta tendência não se verifica, fazendo-se a análise estatística somente para os pontos ao redor da umidade ótima e no ramo úmido das curvas de compactação.

Na Tabela 5.17 são apresentados os pontos de CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido da curva de compactação. A Tabela 5.18 mostra os resultados da análise estatística. Pode-se observar que existe uma relação significativa entre CBR e ω dada pela inclinação b_I com valor de $t = -6,43 < -2,78$ para um nível de confiança de 99,70%.

Tabela 5.17: CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

CBR (%)	ω (%)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 22,20\%$	
3,67	21,23
2,80	25,41
1,45	28,36
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 19,50\%$	
4,90	19,74
4,10	21,79
3,00	25,07

Tabela 5.18: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	1,7909	0,2036	8,80	9,21E-4	-	0,061	6	0,912	$\pm 2,78$
ω	b_1	-0,0551	0,0056	-6,43	3,01E-3	99,70				

A relação entre CBR e ω é dada pela equação 5.10 e ilustrada na Figura 5.29.

$$\log CBR = 1,7909 - 0,0551 \times \omega \quad r^2 = 0,912 \quad \text{equação 5.10}$$

com CBR e ω já definidos anteriormente e válida para o intervalo de $19\% < \omega \leq 29\%$.

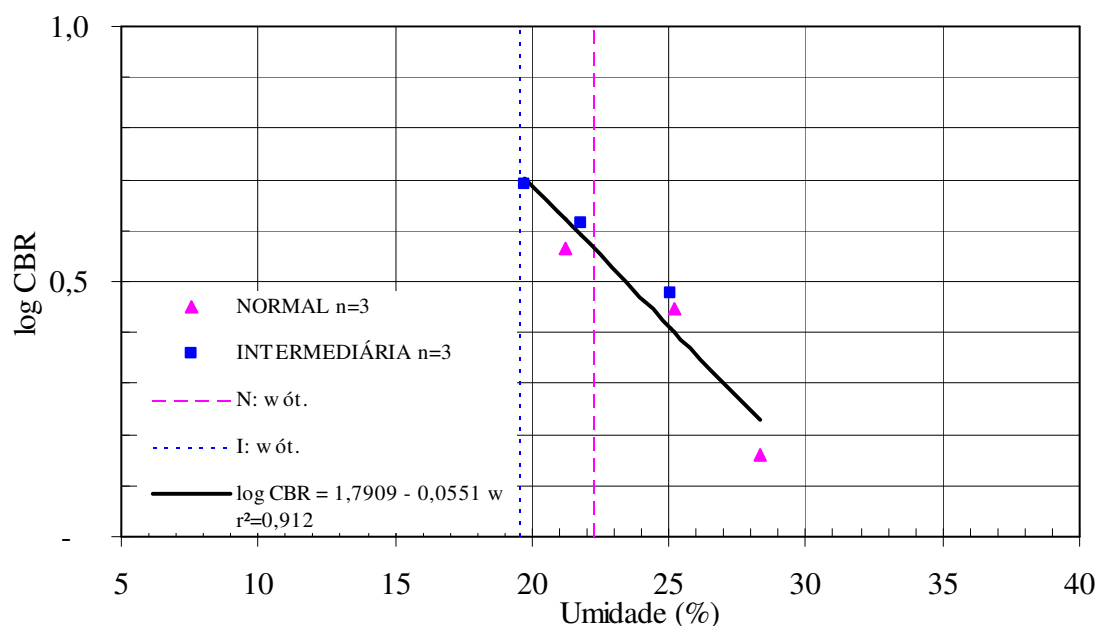


Figura 5.29: Variação de CBR com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

b) *Relação CBR versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco*

Para verificar se o peso específico aparente seco (γ_d) tem influência na determinação de CBR, uma vez que a variável umidade esteja incluída no modelo, aplicou-se a regressão múltipla e seus critérios já definidos anteriormente. Na Tabela 5.19 são apresentados os valores de CBR, umidade e peso específico aparente seco correspondente ao intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido.

Tabela 5.19: CBR, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

CBR (%)	ω (%)	γ_d (KN/m ³)
Energia Normal	$\omega_{ót.} = 22,20\%$	$\gamma_{d \text{ máx.}} = 15,04$
3,67	21,23	14,55
2,80	25,41	14,73
1,45	28,36	13,93
Energia Intermediária	$\omega_{ót.} = 19,5 \%$	$\gamma_{d \text{ máx.}} = 16,16$
4,90	19,74	15,52
4,10	21,79	15,82
3,00	25,07	14,78

A Tabela 5.20 apresenta os resultados da análise estatística.

Tabela 5.20: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla de CBR x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

		Parâmetros Estatísticos							
	<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	<i>Prob.</i>	<i>Conf.</i> (%)	<i>Se</i>	n	r^2	$t_{0,025 (n-p-1)}$
Interseção b_0	-1,9673	2,3056	-0,85	4,56E-1	-	0,052	6	0,953	$\pm 3,18$
ω b_1	-0,0412	0,0111	-3,70	3,43E-2	96,57				
$\log \gamma_d$ b_2	2,9259	1,7901	1,63	2,01E-1	79,93				

Na análise dos parâmetros estatísticos, verifica-se pelo coeficiente de regressão b_2 , que não existe relação significativa da variável peso específico aparente seco na definição do CBR, uma vez que a umidade esteja incluída no modelo, dado por $t = 1,63 < 3,18$ para um nível de confiança de 79,93%.

Assim, pode-se estimar o valor de CBR pela variável umidade, uma vez que não existe uma relação significativa entre o peso específico aparente seco e o CBR.

c) Relação CBR e DN

Foi constatado pelo critérios estatísticos que o peso específico aparente seco não tem uma relação significativa com as resistências DN e CBR, uma vez que a umidade de moldagem esteja incluída no modelo.

A Figura 5.30 ilustra em um mesmo gráfico, as resistências CBR e DN versus umidade de moldagem. Ela auxilia a definição do CBR para as umidades correspondente às resistências DN e vice-versa.

Na Tabela 5.21 são apresentados valores de DN, umidade de moldagem e CBR correspondentes obtidos na Figura 5.30. Os valores em **negrito** correspondem aos valores de resistências obtidos no gráfico Figura 5.30.

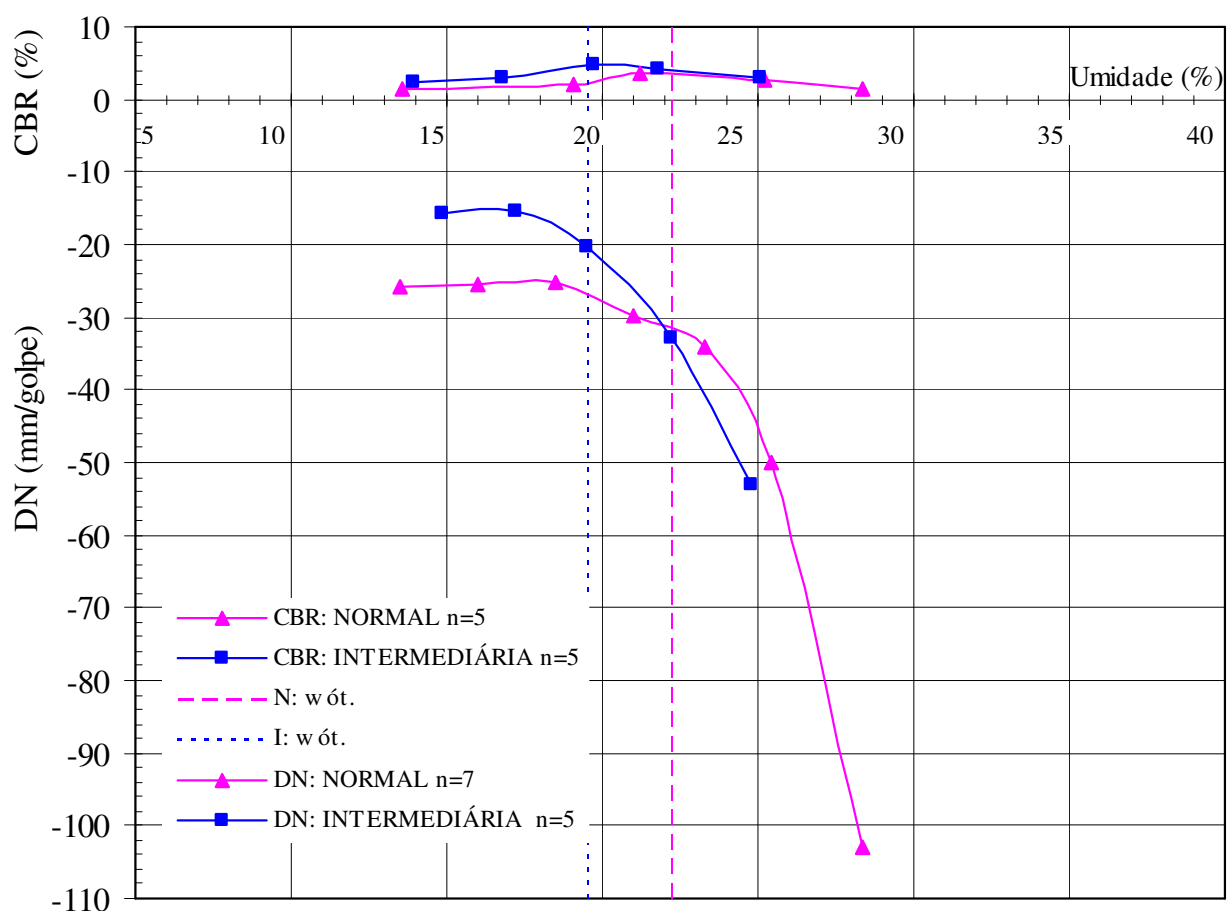


Figura 5.30: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 2.

Tabela 5.21: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2.

DN (mm/golpe)	ω (%)	CBR (%)
Energia Normal $\omega_{\text{ót.}} = 22,20\%$		$\gamma_d \text{ máx.} = 15,04$
29,67	20,98	3,80
34,00	23,30	3,50
50,00	25,41	2,90
103,00	28,36	1,45
Energia Intermediária $\omega_{\text{ót.}} = 19,50\%$		$\gamma_d \text{ máx.} = 16,16$
20,40	19,51	5,00
33,00	22,18	4,00
53,00	24,81	3,00

A Tabela 5.22 apresenta os resultados da análise estatística. Observa-se que existe uma relação significativa entre CBR e DN dada pela inclinação b_I , com $t = -9,85 < -2,57$ para um nível de confiança de 99,98%.

Tabela 5.22: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{\text{ót.}}$ e ramo úmido da Amostra 2.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	<i>Conf.</i> (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	1,6884	0,1213	13,92	3,43E-5	-	0,041	7	0,951	$\pm 2,57$
logDN	b_1	-0,7360	0,0747	-9,85	1,84E-4	99,98				

A relação entre CBR e DN é dada pela equação 5.11 e ilustrada na Figura 5.31.

$$\log CBR = 1,6884 - 0,7360 \times \log DN \quad r^2 = 0,951 \quad N = 7 \quad \text{equação 5.11}$$

com CBR e DN já definidos anteriormente e válida para o intervalo de 20mm/golpe < DN ≤ 100mm/golpe correspondentes ao intervalo de umidade de moldagem de 19% < ω ≤ 29%.

Portanto, é possível estimar o valor da resistência CBR a partir do valor de DN através da equação 5.11.

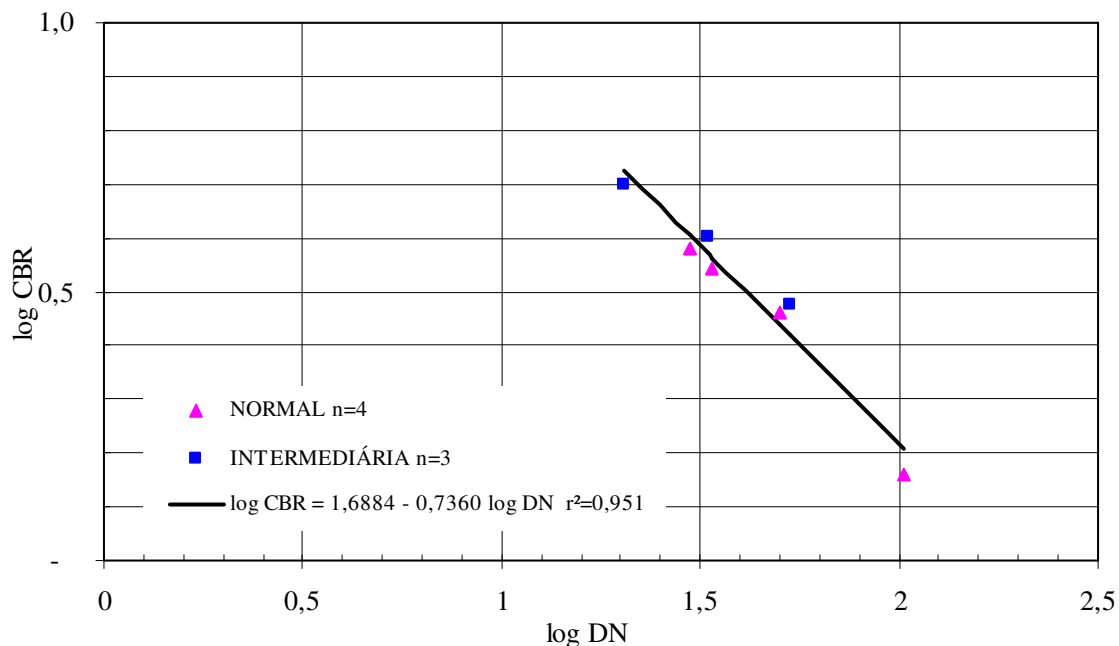


Figura 5.31: Variação de CBR x DN da Amostra 2.

5.5.3 Cambissolo – Horizonte B – bairro Jardim Acarai (Amostra 3)

5.5.3.1 Resultados do Ensaio de Compactação e DCP

No Quadro 5.15 são apresentados o peso específico aparente seco (γ_d), a umidade de moldagem (ω) e o índice de penetração do DCP (DN), compactados nas três energias. No Quadro 5.16 são apresentados os valores de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d \text{ máximo}}$) e umidade ótima ($\omega_{ót.}$) de compactação nas energias correspondentes.

Quadro 5.15: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 3.

Energia Normal						ω higroscópica = 4,43 %
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
γ_d (KN/m ³)	13,86	14,24	14,42	14,24	14,05	13,84
ω (%)	24,40	26,50	28,90	30,70	31,30	33,30
DN (mm/golpe)	17,92	25,00	34,00	49,50	65,00	101,00
Energia Intermediária						ω higroscópica = 3,99%
γ_d (KN/m ³)	15,00	15,30	15,42	15,46	15,05	14,16
ω (%)	21,80	22,80	23,40	25,50	28,00	31,00

DN (mm/golpe)	10,67	12,63	13,86	23,50	34,33	82,00
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Quadro 5.15: Resultados dos ensaios de compactação e DCP para Amostra 3 (*continuação*).

Energia Modificada								ω higroscópica = 4,69%	
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	
γ_d (KN/m ³)	15,45	15,78	16,12	16,02	15,85	15,25	14,76	14,31	
ω (%)	18,80	20,50	22,30	23,60	24,20	26,60	28,60	30,60	
DN (mm/golpe)	5,80	7,50	10,22	16,00	15,50	31,33	48,50	77,00	

Quadro 5.16: Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima da Amostra 3.

Energia	Normal	Intermediária	Modificada
γ_d máximo (KN/m ³)	14,42	15,48	16,13
$\omega_{ót.}$ (%)	28,90	24,90	22,50

A Figura 5.32 ilustra as curvas de compactação das três energias, a curva de saturação ($S=100\%$), a umidade ótima (ponto vermelho) das respectivas curvas de compactação e a regressão linear do peso específico aparente seco máximo versus a umidade ótima nas três energias de compactação, dada pela equação 5.12.

$$\gamma_d \text{ máximo} = -0,267 \omega_{ót.} + 22,133 \quad r^2 = 1,00 \quad n = 3 \quad \text{equação 5.12}$$

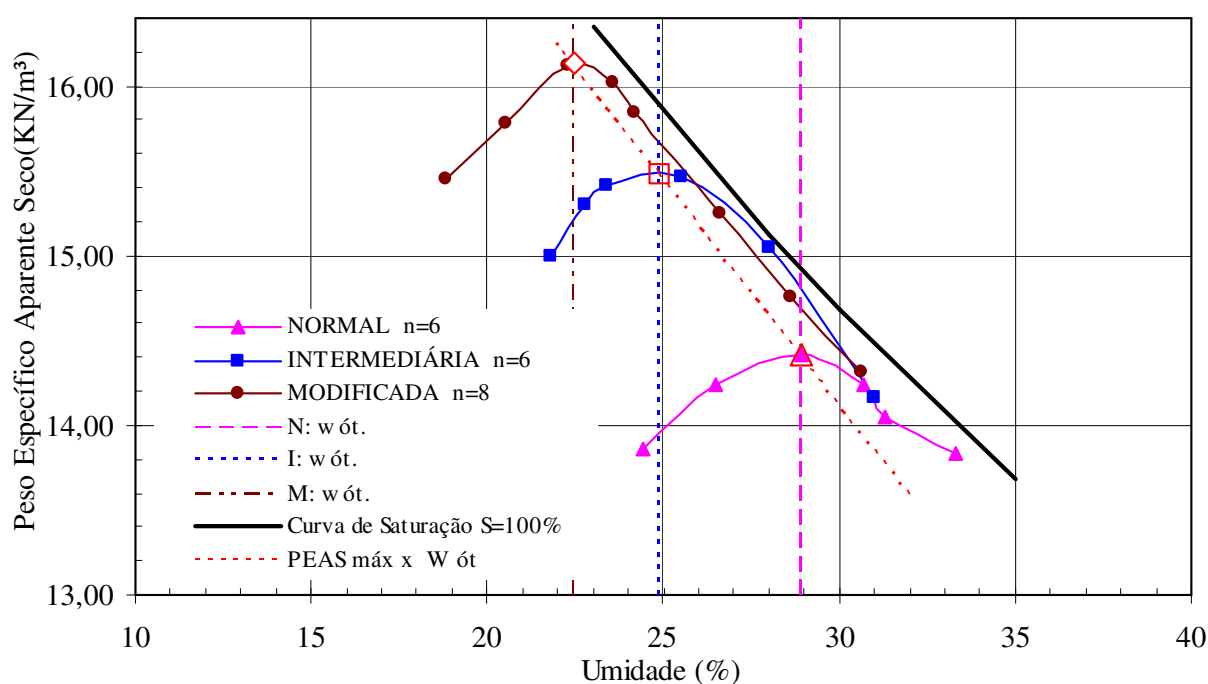


Figura 5.32: Curvas de compactação da Amostra 3.

a) Relação de DN versus Umidade de Moldagem

A Figura 5.33 mostra a variação do DN com a umidade de moldagem dos dados do Quadro 5.15.

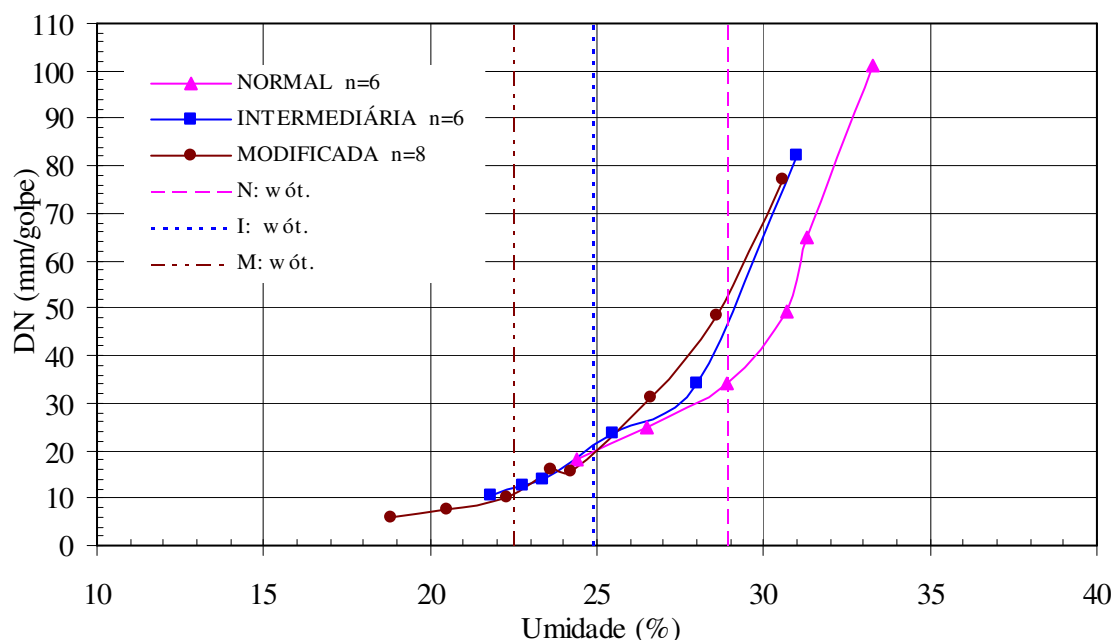


Figura 5.33: Variação de DN com a umidade da Amostra 3.

Observa-se na Figura 5.33 que os pontos abaixo da umidade ótima de cada energia não apresentam o mesmo comportamento das Amostras 1 e 2. Para esse solo, a variação do valor de DN no ramo seco não é constante, porém, são pequenas as diferenças entre eles.

Na Tabela 5.23 são apresentados os parâmetros estatísticos da relação DN versus umidade de moldagem para os dados do Quadro 5.15.

Tabela 5.23: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω da Amostra 3.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.(%)$	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	-0,9113	0,0857	-10,64	3,42E-9	-	0,057	20	0,976	$\pm 2,10$
ω	b_1	0,0882	0,0032	27,23	4,43E-16	100,00				

Observa-se que existe uma relação entre DN e ω , verificado pelo coeficiente de regressão b_1 , sendo $t > t_{0,025(18)}$, ou seja, $27,23 > 2,10$, para um nível de confiança de 100,00%. Também, obtêm-se um coeficiente de determinação de 0,976, o que significa que 97,60% da variação de

DN pode ser explicada pela variação da umidade, quando se consideram todos os pontos da curva de compactação. A relação entre DN e ω de moldagem é dada pela equação 5.13 e ilustrada na Figura 5.34.

$$\log DN = 0,0882 \times \omega - 0,9113 \quad r^2 = 0,976 \quad \text{equação 5.13}$$

com DN e ω já definidos anteriormente e válido para o intervalo de $18\% < \omega \leq 33\%$.

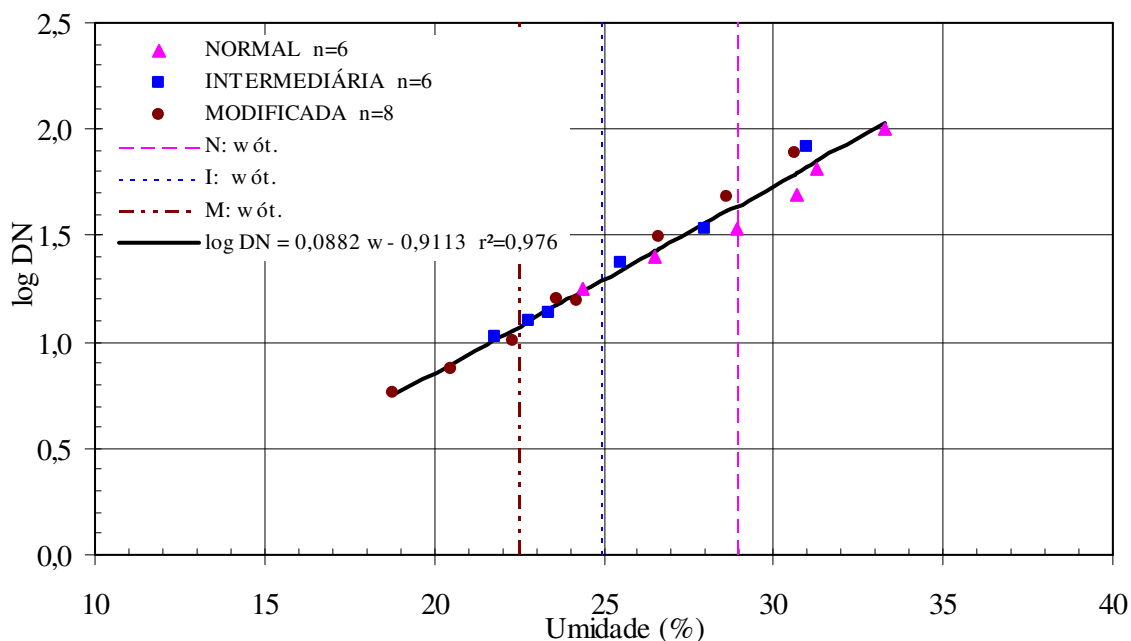


Figura 5.34: Variação de DN com a umidade da Amostra 3.

b) Relação DN versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco

Para verificar se o peso específico aparente seco (γ_d) tem influência na determinação de DN, uma vez que a variável umidade (ω) esteja incluída no modelo, fez-se uso da regressão múltipla e seus critérios já definidos. Na Tabela 5.24 são apresentados os valores de DN, umidades e peso específico aparente seco correspondente ao intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido.

Tabela 5.24: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

DN (mm/golpe)	ω (%)	γ_d (KN/m ³)
Energia Normal	$\omega_{ót.} = 28,90\%$	$\gamma_{d \text{ máx.}} = 14,42$
34,00	28,90	14,42
49,50	30,70	14,25
65,00	31,30	14,05

101,00	33,30	13,84
--------	-------	-------

Tabela 5.24: DN, ω e γ_d no intervalo de 2 p.p. da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3 (continuação).

Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 24,90\%$		$\gamma_d \text{ máx.} = 15,48$
13,86	23,40	15,42
23,50	25,50	15,46
34,33	28,00	15,05
82,00	31,00	14,16
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 22,50\%$		$\gamma_d \text{ máx.} = 16,13$
7,50	20,50	15,78
10,22	22,30	16,12
16,00	23,60	16,02
15,50	24,20	15,85
31,33	26,60	15,25
48,50	28,60	14,76
77,00	30,60	14,31

A Tabela 5.25 apresenta os resultados estatísticos da Tabela 5.24. Na análise dos parâmetros estatísticos, verifica-se pelo coeficiente de regressão b_2 , que não existe relação significativa da variável peso específico aparente seco na explicação de DN, uma vez que a umidade esteja incluída no modelo, dado por $t = 0,86 < 2,18$ para um nível de confiança de 59,18%.

Tabela 5.25: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla DN x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.$ (%)	Se	n	r^2	$T_{0,025(n-p-1)}$
Interseção	b_0	-3,9838	3,5490	-1,12	2,84E-1	-	0,067	15	0,968	$\pm 2,18$
ω	b_1	0,1022	0,0157	6,51	2,89E-5	100,00				
$\log \gamma_d$ b_2		2,2888	2,6708	0,86	4,08E-1	59,18				

5.5.3.2 Resultados do Ensaio de Compactação e CBR

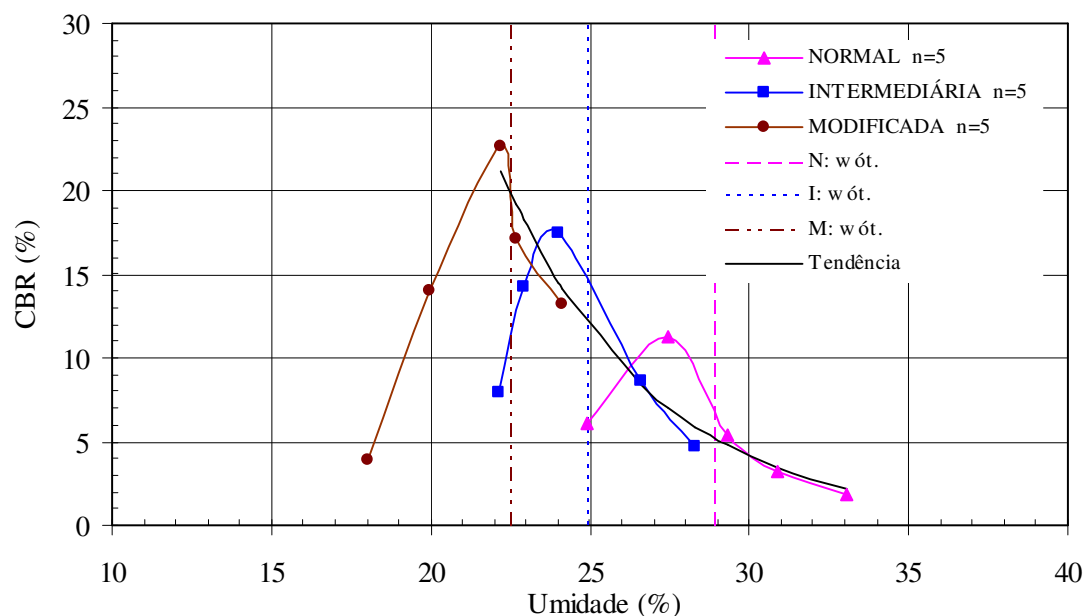
Empregou-se o mesmo procedimento de ensaio já descrito anteriormente. No Quadro 5.17 são apresentados os resultados de ensaio de compactação, expansão e CBR.

Quadro 5.17: Resultados dos ensaios de compactação e CBR da Amostra 3.

Energia Normal					ω higroscópica = 4,66%
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
γ_d (KN/m ³)	13,79	14,09	13,94	13,77	13,41
ω (%)	24,88	27,47	29,31	30,89	33,06
CBR (%)	6,07	11,21	5,45	3,27	1,87
EXPANSÃO (%)	0,96	0,13	0,07	0,05	0,00
ω após 4 dias (%)	28,98	27,43	29,13	31,38	33,36
Energia Intermediária					ω higroscópica = 4,14%
γ_d (KN/m ³)	14,67	14,84	14,87	15,10	14,46
ω (%)	22,15	22,90	24,01	26,61	28,30
CBR (%)	7,90	14,20	17,50	8,60	4,70
EXPANSÃO (%)	1,78	0,92	0,48	0,07	0,06
ω após 4 dias (%)	26,34	25,75	25,26	26,52	28,44
Energia Modificada					ω higroscópica = 4,25%
γ_d (KN/m ³)	15,21	15,75	15,69	15,67	15,59
ω (%)	18,04	19,95	22,21	22,68	24,12
CBR (%)	3,90	14,00	22,60	17,10	13,20
EXPANSÃO (%)	4,31	1,88	0,48	0,26	0,09
ω após 4 dias (%)	27,12	22,40	22,78	23,47	24,18

a) *Relação CBR versus Umidade de Moldagem*

A Figura 5.35 ilustra a variação de CBR com a umidade de moldagem da Amostra 3.

**Figura 5.35:** Relação CBR e umidade da Amostra 3.

Na Figura 5.35, observa-se que as curvas CBR versus umidade de moldagem apresentam comportamento típico e que há uma tendência de relação entre CBR e umidade para os pontos ao redor da umidade ótima e ramo úmido da curva de compactação. O que não acontece no ramo seco.

Na Tabela 5.26 são apresentados os valores de CBR e umidade de moldagem para o intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido.

Na Tabela 5.27 são apresentados os parâmetros estatísticos da regressão linear da Tabela 5.26. Nela, pode-se observar que existe uma relação significativa entre CBR e ω dada pela inclinação b_1 com valor de $t = -10,96 < -2,26$ para um nível de confiança de 100,00%.

A relação entre CBR e ω é dada pela equação 5.14 e ilustrada na Figura 5.36.

$$\log CBR = 3,3491 - 0,0911 \times \omega \quad r^2 = 0,930 \quad \text{equação 5.14}$$

com CBR e ω definidos anteriormente e válida para o intervalo de $22\% < \omega \leq 34\%$.

Tabela 5.26: CBR e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

CBR (%)	ω (%)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 28,90\%$	
11,21	27,47
5,45	29,31
3,27	30,89
1,87	33,06
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 24,90\%$	
14,20	22,90
17,50	24,10
8,60	26,61
4,70	28,30
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 22,50\%$	
22,60	22,21
17,10	22,68
13,20	24,12

Tabela 5.27: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.(%)$	Se	n	r^2	$t_{0,05(n-2)}$
Interseção	b_0	3,3491	0,2222	15,07	1,08E-7	-	0,096	11	0,930	$\pm 2,26$
ω	b_1	-0,0911	0,0083	-10,96	1,66E-6	100,00				

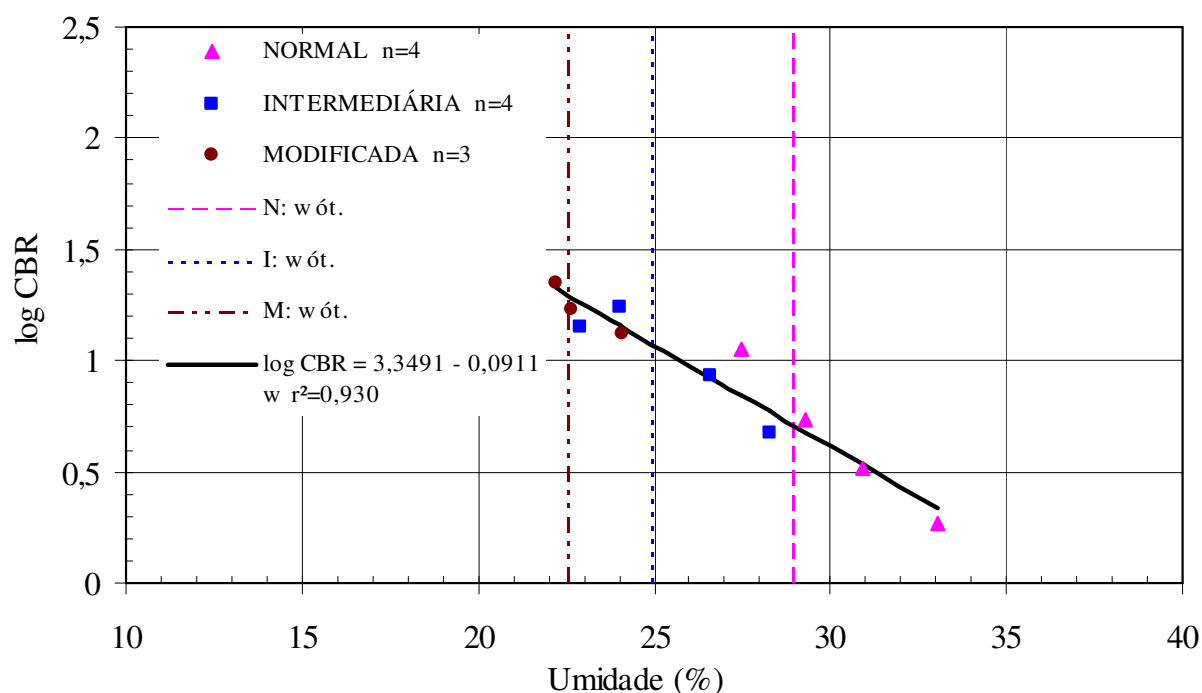


Figura 5.36: Variação de CBR com a umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

b) Relação CBR versus Umidade de Moldagem e Peso Específico Aparente Seco

Para verificar se o peso específico aparente seco (γ_d) tem influência na determinação de CBR, uma vez que a variável umidade esteja incluída no modelo, empregou-se a regressão múltipla e seus critérios definidos anteriormente.

Na Tabela 5.28 são apresentados os valores de CBR, umidade e peso específico correspondente ao intervalo de 2 p.p. abaixo da umidade ótima e ramo úmido. Na Tabela 5.29 são apresentados os parâmetros estatísticos de regressão linear dos dados da Tabela 5.28. Na análise dos parâmetros estatísticos, verifica-se pelo coeficiente de regressão b_2 , que não existe relação

significativa da variável peso específico aparente seco na definição do CBR, uma vez que a umidade esteja incluída no modelo, dado por $t = -0,84 > -2,31$ para um nível de confiança de 57,60%.

Tabela 5.28: CBR, ω de moldagem e γ_d no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

CBR (%)	ω (%)	γ_d (KN/m ³)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 28,90\%$ $\gamma_d \text{ máx.} = 14,42$		
11,21	27,47	14,09
5,45	29,31	13,94
3,27	30,89	13,77
1,87	33,06	13,41
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 24,90\%$ $\gamma_d \text{ máx.} = 15,48$		
14,20	22,90	14,84
17,50	24,10	14,87
8,60	26,61	15,10
4,70	28,30	14,46
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 22,50\%$ $\gamma_d \text{ máx.} = 16,13$		
22,60	22,21	15,69
17,10	22,68	15,67
13,20	24,12	15,59

Tabela 5.29: Parâmetros estatísticos da regressão múltipla de CBR x (ω , γ_d) no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.(%)$	Se	n	r^2	$T_{0,025(n-p-1)}$
Interseção	b_0	6,9469	4,2770	1,62	1,43E-1	-	0,097	11	0,936	$\pm 2,31$
ω	b_1	-0,1074	0,0212	-5,08	9,55E-4	99,99				
$\log\gamma_d$ b_2		-2,7142	3,2221	-0,84	4,24E-1	57,60				

c) *Relação CBR e DN*

Foi constatado pelo critérios estatísticos que o peso específico aparente seco não tem uma relação significativa com as resistências DN e CBR, uma vez que a umidade de moldagem esteja incluída no modelo.

A Figura 5.37 ilustra em um mesmo gráfico as resistências CBR e DN versus umidade de moldagem. Ela auxilia a definição do CBR para as umidades nas quais as resistências DN foram determinadas e vice-versa.

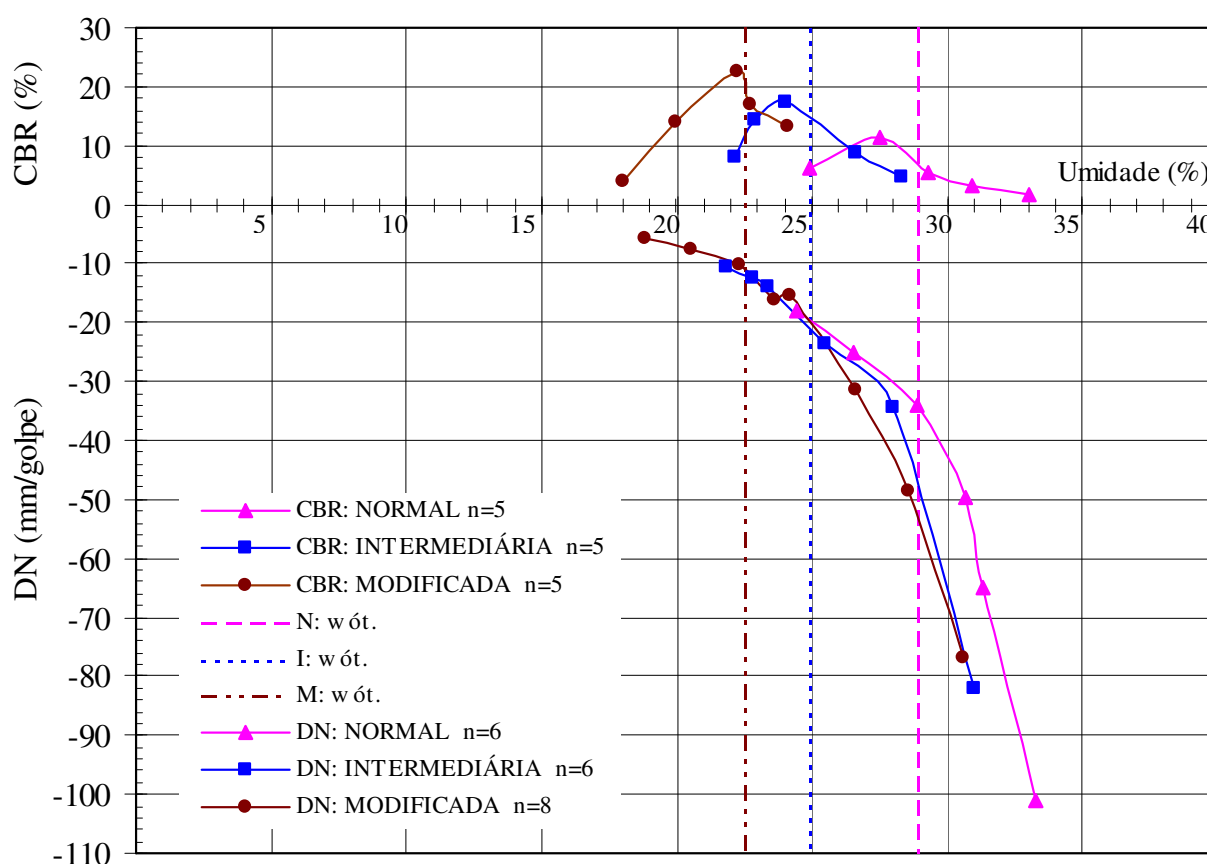


Figura 5.37: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 3.

Na Tabela 5.30 são apresentados os valores de DN, das umidades de moldagem e dos CBR correspondentes. Os valores em **negrito** correspondem aos valores de resistências obtidos no gráfico da Figura 5.37.

Na Tabela 5.31 são apresentados os parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN dos dados da Tabela 5.30. Pode-se observar que existe uma relação significativa entre CBR e DN dada pela inclinação b_1 , com $t = -15,04 < -2,13$ para um nível de confiança de 100,00%.

Tabela 5.30: DN, ω e CBR no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

DN (mm/golpe)	ω (%)	CBR (%)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 28,90\%$ $\gamma_d \text{ máx.} = 14,42$		
28,00	27,47	11,21
34,00	28,90	6,90
49,50	30,70	3,50
65,00	31,30	3,00
97,00	33,06	1,87
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 24,90\%$ $\gamma_d \text{ máx.} = 15,48$		
13,86	23,40	17,00
16,50	24,01	17,50
21,00	24,90	15,00
23,50	25,50	12,80
26,40	26,61	8,60
34,33	28,00	5,50
37,50	28,30	4,70
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 22,50\%$ $\gamma_d \text{ máx.} = 16,13$		
10,22	22,30	22,80
10,80	22,50	20,00
11,50	22,68	17,10
16,00	23,60	14,80
15,00	24,12	13,20

Tabela 5.31: Parâmetros estatísticos da regressão linear CBR x DN no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> <i>b_k</i>	<i>Erro</i> <i>padrão S_{bk}</i>	<i>t</i>	<i>Prob.</i>	<i>Conf.</i> <i>(%)</i>	<i>Se</i>	<i>n</i>	<i>r</i> ²	<i>t</i> _{0,025(n-2)}
Interseção	<i>b</i> ₀	2,5119	0,1046	24,01	2,20E-13	-	0,083	17	0,938	± 2,13
logDN	<i>b</i> ₁	-1,1145	0,0741	-15,04	1,88E-10	100,00				

A relação entre CBR e DN é dada pela equação 5.15 e ilustrada na Figura 5.38.

$$\log CBR = 2,5119 - 1,1145 \times \log DN \quad r^2 = 0,938 \quad \text{equação 5.15}$$

Com CBR e DN definidos anteriormente e válida para o intervalo de $10\text{mm/golpe} < \text{DN} \leq 90\text{mm/golpe}$ correspondentes ao intervalo de umidade de moldagem de $22\% < \omega \leq 34\%$.

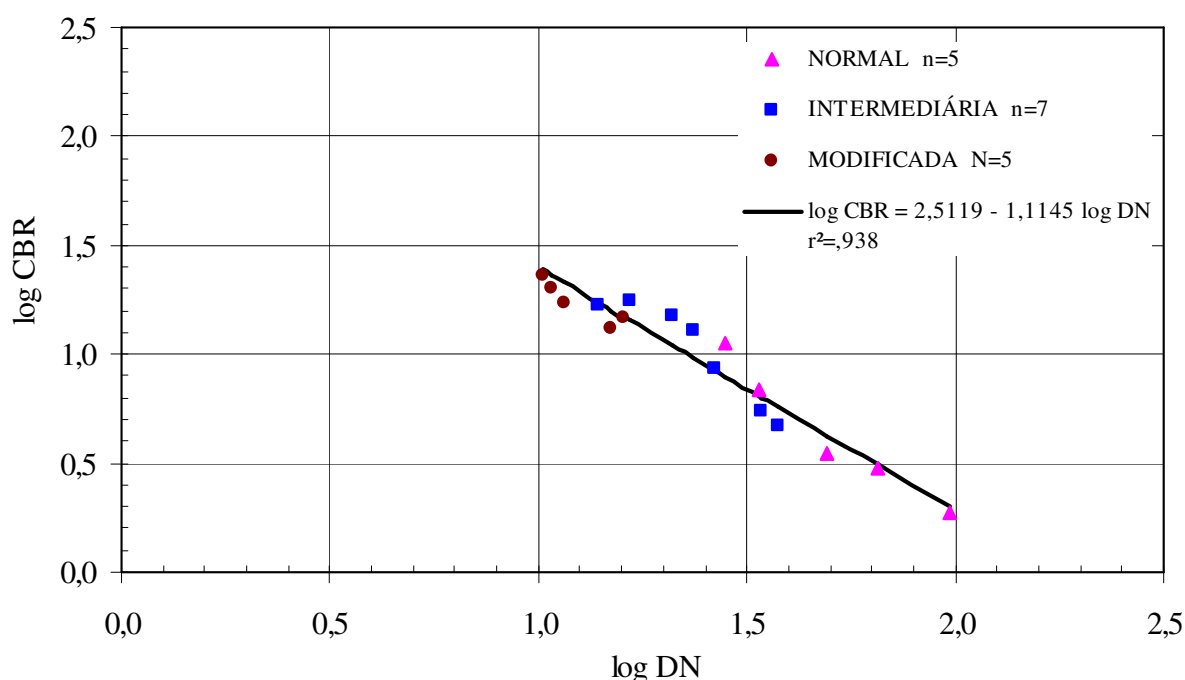


Figura 5.38: Variação de CBR x DN da Amostra 3.

Portanto, é possível estimar o valor da resistência CBR a partir do valor de DN, a partir do modelo da equação 5.12.

5.6 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DO MOLDE NOS RESULTADOS DCP

Com o objetivo de avaliar a influência das dimensões do molde no Índice de Penetração (DN), moldaram-se corpos-de-prova em um cilindro aço com 450mm de diâmetro e 400mm de altura. Esta avaliação foi realizada para as Amostras 2 (horizonte C) e 3 (horizonte B). Os ensaios foram conduzidos sem imersão para caracterizar a situação de campo em que se determina DN de solos compactados. Para cada amostra foram moldados 9 CPs nas seguintes condições para cada energia de compactação:

- 1 CP com umidade correspondente a 2 p.p. abaixo da umidade ótima;
- 1 CP na umidade ótima; e,
- 1CP com umidade correspondente a 2 p.p. acima da umidade ótima.

5.6.1 Moldagem dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram moldados da seguinte forma:

- Pesava-se a quantidade de solo para se reproduzir o peso específico aparente seco das curvas de compactação na umidade definida;
- Sobre uma base móvel de uma prensa (Prensa de 300t, *Laboratório de Estrutura-UFSC*), colocava-se um disco de madeira de 60mm de espessura e 448mm de diâmetro e ao seu redor, três apoios com 45mm de altura e o cilindro sobre os apoios, para que o cilindro trabalhasse de forma flutuante;
- Compactava-se o solo em 11 camadas com o soquete de 4,5kg;
- Após a compactação da última camada, fazia-se o rasamento, de modo a ter no cilindro a quantidade exata de solo para obter o peso específico aparente seco correspondente ao da curva de compactação;
- Colocava-se, então, sobre o solo compactado, um outro disco de madeira com 60mm de espessura e 448mm de diâmetro que servia de apoio para prensar o solo; e,
- Retirava-se os apoios e através de uma prensa de 300 toneladas, aplicava-se lentamente uma carga pressionando os discos de madeira para o interior do cilindro de maneira a definir a altura final do corpo-de-prova em 280mm. A Figura 5.39 mostra o esquema de compactação do CP no cilindro grande.

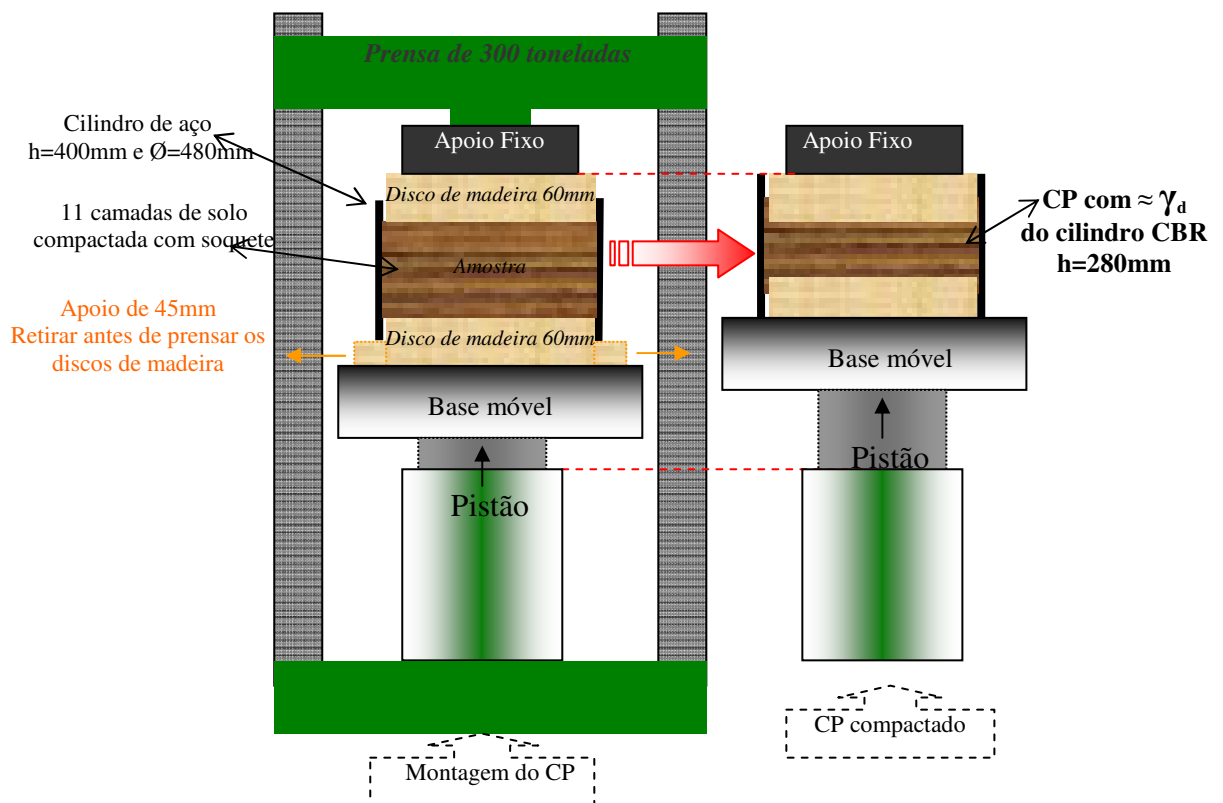


Figura 5.39 : Esquema de compactação do CP no cilindro grande.

A Figura 5.40 ilustra a prensagem do solo para se atingir um CP com peso específico aparente seco desejado.



Figura 5.40: Prensagem de um corpo-de-prova.

O corpo-de-prova foi mantido pressionado por um período de uma hora, para então se efetuar o descarregamento da carga aplicada. Esse controle foi realizado para que houvesse um alívio das pressões internas e com isso obter um CP com altura final de $\cong 280\text{mm}$. Na sequência, realizava-se o ensaio DCP (face superior do CP) em 11 pontos marcados por um gabarito em meia seção do CP. Na outra meia seção, eram feitos ensaios de forma aleatória. A Figura 5.41 mostra um CP compactado e o gabarito, a execução do ensaio DCP e CP após a penetração do DCP.



Figura 5.41: Realização do ensaio DCP no CP de grandes dimensões: a) CP prensado e gabarito, b) execução do ensaio DCP e c) CP após penetração do DCP (Amostra 3).

Durante a execução do ensaio DCP, houve a preocupação em manter o DCP na vertical, verificando a verticabilidade com emprego de um nível de bolha [ver Figura 5.41, b)].

Finalizado o ensaio DCP, eram determinadas as umidades de moldagem a 50mm abaixo do topo, no centro e a 50mm acima do fundo, obtendo-se uma umidade média de moldagem.

5.6.2 Resultados do Ensaio DCP

5.6.2.1 Cambissolo – horizonte C, grupo NS'-NG' (Amostra 2)

a) Repetibilidade do Equipamento DCP

No Quadro 5.18 são apresentados os valores individuais de DN, a umidade média ($\omega_{\text{média}}$) e o peso específico aparente seco (γ_d) dos CPs nas três energias de compactação.

Os valores em asterístico são valores individuais de DN obtidos muito próximo à parede do cilindro, variando de 30mm ou rente à face do cilindro.

Quadro 5.18: Resultado do ensaio DCP da Amostra 2 – Repetibilidade.

CP	NORMAL			INTERMEDIÁRIA			MODIFICADA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_{\text{média}}$ (%)	20,35	21,81	24,10	16,76	18,64	21,21	12,18	15,66	17,07
γ_d (KN/m ³)	14,91	15,13	14,95	16,09	16,19	15,99	16,95	16,89	16,95
Pontos	DN (mm/golpe)								
1	21,32	25,06	30,64	11,40	13,53	17,75	6,08	7,91	9,08
2	19,71	24,94	31,57	11,23	12,71	18,33	6,24	7,90	10,22
3	19,50	22,44	29,79	10,62	12,59	16,67	5,73	7,65	8,91
4	19,75	24,39	30,43	11,02	13,13	16,96	6,74	7,80	10,05
5	19,29	23,67	31,19	10,23	12,26	15,50	5,66	7,46	8,42
6	20,73	24,39	33,79	11,40	14,63	18,17	0,00	8,31	8,81
7	21,65	24,94	31,86	11,53	13,88	18,21	6,06	8,65	10,33
8	21,50	27,00	33,43	11,87	13,56	18,08	5,92	8,52	10,66
9	20,75	25,44	30,71	11,47	13,19	17,71	6,52	7,98	8,78
10	21,42	26,44	34,43	11,47	12,74	17,00	6,04	8,33	8,60
11	20,59	24,78	33,57	11,82	13,35	16,31	6,97	8,33	8,63
12	20,42	25,44	30,86	11,63	12,91	18,42	6,65	8,50	10,05
13	20,77	25,17	30,79	11,68	12,88	18,00	6,66	8,60	9,95
14	19,42	24,67	31,50	11,95	12,94	18,04	6,58	8,79	9,81
15	*18,00	24,56	*30,86	11,92	13,35	19,00	6,78	8,38	9,55
16	*17,96	*24,06	*29,64	12,06	13,44	18,54	7,00	8,50	10,65
17	20,09	*23,15	31,71	11,94	*12,31	19,00	*7,41	8,67	10,23
18	20,42	25,94	33,86	*11,94	14,50	*16,65	6,83	9,24	
19	21,27	26,22	*29,88	*12,03		17,83	7,32	9,23	
20	23,00	*24,50	33,57	*13,06		19,00	7,04		
21	21,41	*24,60	33,50	*12,24		19,38	7,61		
22	22,55	28,06	33,93	13,06		18,79			

* : valores de DN junto a face do cilindro.

No Quadro 5.18 verifica-se que os valores individuais de DN obtidos junto à parede do cilindro são geralmente menores, o que pode significar uma influência do confinamento do cilindro.

No Quadro 5.19 são apresentados os valores médios de DN e os parâmetros estatísticos de todos os valores individuais do ensaio, bem como os parâmetros estatísticos excluindo-se os valores de DN próximos à parede do cilindro (os pontos marcados em asterístico).

Considerando-se todos os valores de DNs obtidos em cada CP, observa-se que os coeficientes de variação (CVs) ficaram entre 4,91% a 8,46%. Quando foram excluídos os pontos de DN próximos à parede do cilindro, houve uma redução dos CVs, porém permaneceram entre 4,62% a 8,20%.

Quadro 5.19: Resultado do ensaio DCP da Amostra 2 – Repetibilidade.

	NORMAL			INTERMEDIÁRIA			MODIFICADA		
	Todos DNs para cada corpo-de-prova								
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\overline{DN}	20,52	24,99	31,89	11,70	13,22	17,88	6,59	8,36	9,57
Desvio pd.	1,26	1,24	1,56	0,65	0,65	1,00	0,56	0,48	0,76
CV (%)	6,16	4,97	4,91	5,53	4,95	5,57	8,46	5,78	7,98
N	22	22	22	22	18	22	20	19	17
	DNs excluindo-se os valores em asteristico (*)								
\overline{DN}	20,78	25,20	32,16	11,57	13,27	17,94	6,55	8,36	9,57
Desvio pd.	1,01	1,26	1,49	0,60	0,63	0,98	0,54	0,48	0,76
CV (%)	4,86	5,00	4,62	5,21	4,77	5,47	8,20	5,78	7,98
N	20	18	19	18	17	21	19	19	17

Onde:

\overline{DN} : DN médio; Desvio pd.: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; n: tamanho da amostra...número de repetições de DCP no cilindro grande.

b) Relação de DN versus Umidade de Moldagem do Cilindro Grande em relação ao Cilindro CBR

Na Tabela 5.32 são apresentados os valores médios dos DN (\overline{DN}) do Quadro 5.19, do qual foram excluídos os valores de DN individuais próximos à parede do cilindro e, as umidades dos CPs do Quadro 5.18, excluindo-se os pontos abaixo de 2 p.p. da umidade ótima.

Tabela 5.32: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2.

DN (mm/golpe)	ω (%)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 22,20\%$	
20,78	20,35
25,20	21,81
32,16	24,10
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 19,50\%$	
13,27	18,64
17,94	21,21
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 15,10\%$	
8,36	15,66
9,57	17,07

A Tabela 5.33 apresenta os resultados estatísticos.

Tabela 5.33: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 2 do cilindro Grande.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coeficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	$Prob.$	$Conf.(%)$	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	-0,2312	0,1340	-1,73	1,45E-1	-	0,048	7	0,960	$\pm 2,57$
ω	b_1	0,0729	0,0067	10,89	1,13E-4	99,99				

A relação entre DN e umidade do cilindro Grande é dada pela equação 5.16 e ilustrada na Figura 5.42, comparando-a com a relação DN x umidade obtida no cilindro CBR.

$$\log DN = 0,0729 \times \omega - 0,2312 \quad r^2 = 0,960 \quad \text{equação 5.16}$$

com DN e ω definidos anteriormente e válida para o intervalo de $15\% < \omega \leq 24\%$.

Para a Amostra 2, verifica-se que a regressão DN x umidade do cilindro Grande situa-se abaixo da regressão obtida com os dados do cilindro CBR, o que significa que no cilindro Grande obteve-se resistências maiores para as mesmas condições de energia, umidade e peso específico.

Os resultados obtidos indicam que ao se realizar os ensaios de DCP nos moldes de CBR, os solos tenderão a apresentar uma menor resistência (o cilindro pequeno confina menos).

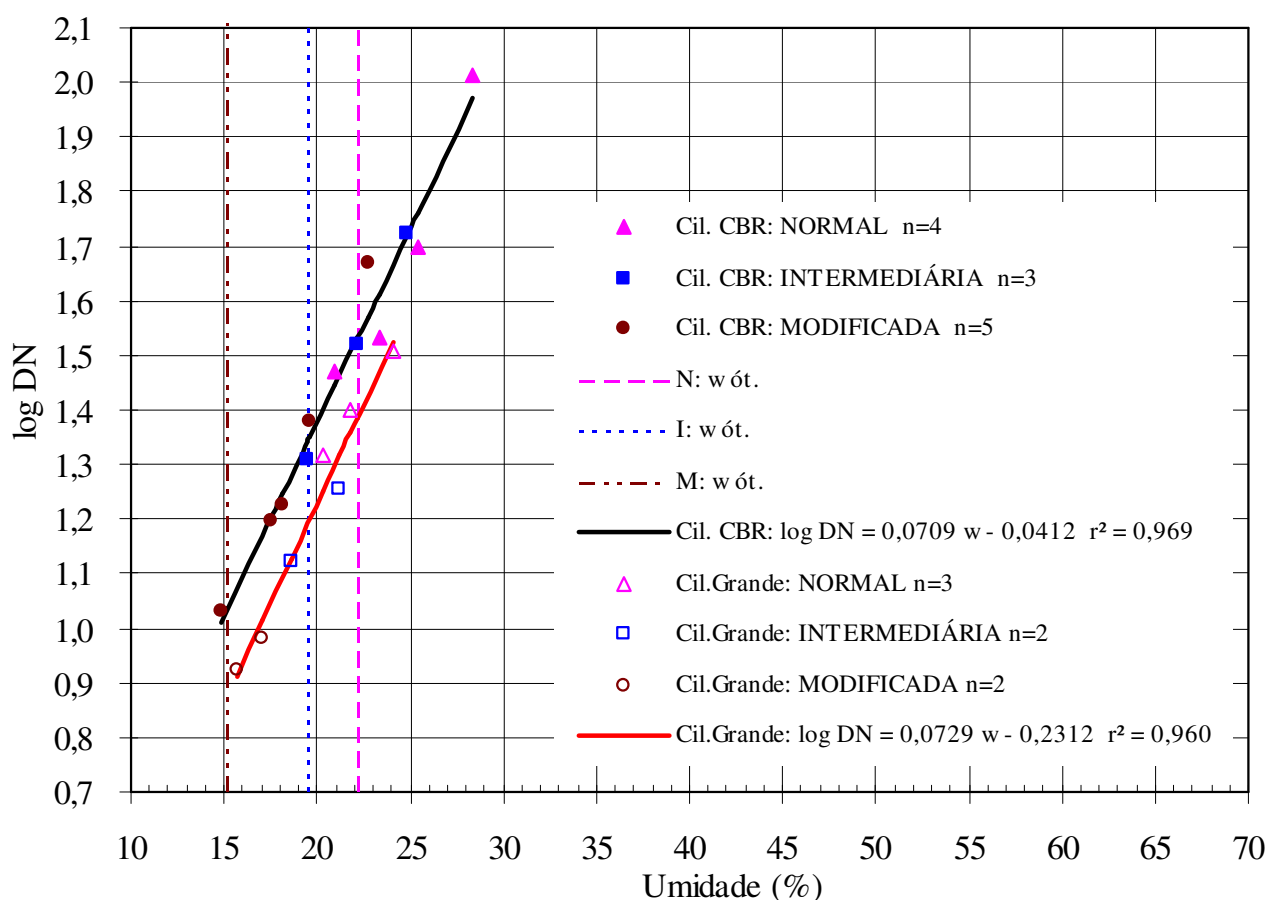


Figura 5.42: Variação do DN com a umidade do cilindro CBR e cilindro Grande da Amostra 2.

Foi constatado que a variável peso específico aparente seco não contribui significativamente na determinação de DN quando a variável umidade já está incluída no modelo. Então, a diferença de DN não seria devido a diferença no peso específico, mas sim a outros fatores, tais como o tamanho do CP (altura), número de golpes para obter o DN, o processo de compactação, tipo de solo. De qualquer forma o que se constata a priori é que o cilindro pequeno é menos confiável que o cilindro grande.

5.6.2.2 Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (Amostra 3)

a) Repetibilidade do Equipamento DCP

No Quadro 5.20 são apresentados os valores individuais de DN, a umidade média ($\omega_{\text{média}}$) e o peso específico aparente seco (γ_d) dos CPs nas três energias de compactação. No Quadro 5.21 são apresentados os valores médios de DN e os parâmetros estatísticos de todos os valores individuais do ensaio, bem como os parâmetros estatísticos excluindo-se os valores de DN próximos à parede do cilindro (os pontos marcados em asterístico).

Considerando-se todos os valores de DN's obtidos em cada CP, observa-se que os coeficientes de variação ficaram entre 2,80% a 7,70%. Quando foram excluídos os pontos de DN próximos da parede do cilindro, houve uma redução dos CVs, porém permaneceram entre 2,40% a 4,40%.

Quadro 5.20: Resultado do ensaio DCP da Amostra 3 – Repetibilidade.

CP	NORMAL			INTERMEDIÁRIA			MODIFICADA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ω (%)	28,10	29,02	30,58	25,52	24,74	26,41	19,65	22,00	23,70
γ_d (KN/m ³)	14,41	13,95	14,27	15,16	15,49	15,07	15,70	16,19	15,85
Pontos	DN (mm/golpe)								
1	33,57	52,40	67,75	22,60	17,00	25,30	8,14	10,23	13,76
2	34,86	52,60	69,00	22,20	17,31	25,50	8,10	10,32	14,18
3	33,57	49,40	58,50	21,90	18,23	23,80	8,14	10,13	13,94
4	32,57	52,40	69,00	21,80	17,62	24,80	8,07	10,13	14,47
5	33,14	46,80	61,25	22,00	17,38	24,90	7,79	9,71	13,71
6	34,29	52,00	74,00	22,80	18,15	25,00	8,29	10,52	14,47
7	33,29	51,00	67,25	22,50	18,15	25,22	8,33	10,57	14,59
8	35,00	51,00	67,33	22,30	17,85	26,33	8,74	10,55	14,94
9	34,43	51,20	60,50	23,10	18,92	25,00	8,18	10,35	14,68
10	32,33	50,40	63,75	22,00	19,23	25,44	8,37	10,04	14,35
11	32,14	47,00	65,50	22,00	18,08	25,11	8,32	10,48	13,53
12	34,57	50,60	65,75	22,70	17,69	27,11	7,75	10,26	14,53
13	35,57	55,75	67,00	23,67	17,62	25,33	8,14	10,77	14,29
14	*32,43	50,60	61,50	23,30	18,00	24,50	7,72	10,68	14,69
15	33,29	48,80	62,67	22,30	18,23	*23,60	8,39	10,22	14,29
16	35,00	*49,60	*52,50	21,80	*17,38	*23,00	*7,93	*10,54	*13,65
17	35,14	*46,00	*56,00	22,70	17,15	24,89	8,14	*10,22	15,16
18	33,57	50,60	65,75	*21,91	*17,23	25,67	7,97	10,96	14,91
19	33,86	50,60	67,33	*20,91	17,85	26,22		11,00	16,00
20	*35,14	*50,20	64,00	*21,64	18,00	*23,00		10,95	15,19
21	*34,86	*47,60		23,20	18,92	26,67		10,91	15,75
22	*35,43	53,75		*22,50	*17,23	26,22		11,00	*15,50
23		54,25				28,00			
24		53,25				26,22			

* : valores de DN junto a face do cilindro.

Quadro 5.21: Resultado do ensaio DCP da Amostra 3 – Repetibilidade.

	NORMAL			INTERMEDIÁRIA			MODIFICADA		
	Todos DN's para cada corpo-de-prova								
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\overline{DN}	34,00	50,74	64,32	22,36	17,87	25,29	8,14	10,48	14,57
Desvio pd.	1,07	2,40	4,96	0,63	0,60	1,21	0,25	0,35	0,67
CV (%)	3,20	4,70	7,70	2,80	3,40	4,80	3,10	3,40	4,60
n	22	24	20	22	22	24	18	22	22
	DN's excluindo valores junto à borda (*) do cilindro								
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\overline{DN}	33,90	51,22	64,93	22,45	17,97	25,51	8,15	10,49	14,57
Desvio pd.	1,02	2,23	3,14	0,54	0,59	0,91	0,26	0,37	0,64
CV (%)	3,00	4,40	4,80	2,40	3,30	3,60	3,10	3,50	4,40
n	18	20	17	17	19	20	17	20	20

b) Relação de DN versus Umidade de Moldagem do Cilindro Grande em relação ao Cilindro CBR

Na Tabela 5.34 são apresentados os valores médios dos DN (\overline{DN}) do Quadro 5.21 do qual foram excluídos os valores de DN individuais com asterísticos e as umidades dos CPs do Quadro 5.20, excluindo-se os pontos abaixo de 2 p.p. da umidade ótima.

Tabela 5.34: DN e umidade no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3.

DN (mm/golpe)	ω (%)
Energia Normal $\omega_{ót.} = 28,90\%$	
33,90	28,10
51,22	29,02
64,93	30,58
Energia Intermediária $\omega_{ót.} = 24,90\%$	
22,45	25,52
17,97	24,74
25,51	26,41
Energia Modificada $\omega_{ót.} = 22,50\%$	
10,49	22,00
14,57	23,70

Na Tabela 5.35 são apresentados os resultados estatísticos. A relação entre DN e umidade do cilindro Grande é dada pela equação 5.17 e ilustrada na Figura 5.43, comparando-a com a relação DN x umidade obtido no cilindro CBR.

$$\log DN = 0,0935 \times \omega - 1,0500 \quad r^2 = 0,990 \quad \text{equação 5.17}$$

com DN e ω já definidos anteriormente e válida para o intervalo de $22,00\% < \omega \leq 30,00\%$.

Tabela 5.35: Parâmetros estatísticos da regressão linear DN x ω no intervalo de 2 p.p. abaixo da $\omega_{ót.}$ e ramo úmido da Amostra 3 do cilindro Grande.

		Parâmetros Estatísticos								
		<i>Coefficientes</i> b_k	<i>Erro</i> <i>padrão</i> S_{bk}	t	<i>Prob.</i>	<i>Conf.</i> (%)	Se	n	r^2	$t_{0,025(n-2)}$
Interseção	b_0	-1,0500	0,1008	-10,42	4,58E-5	-	0,029	8	0,990	$\pm 2,45$
ω	b_1	0,0935	0,0038	24,50	3,04E-7	100,00				

A Figura 5.43 ilustra os pontos de DN x Umidade do cilindro CBR e do cilindro Grande da Amostra 3, bem como curvas de relação DN x Umidade.

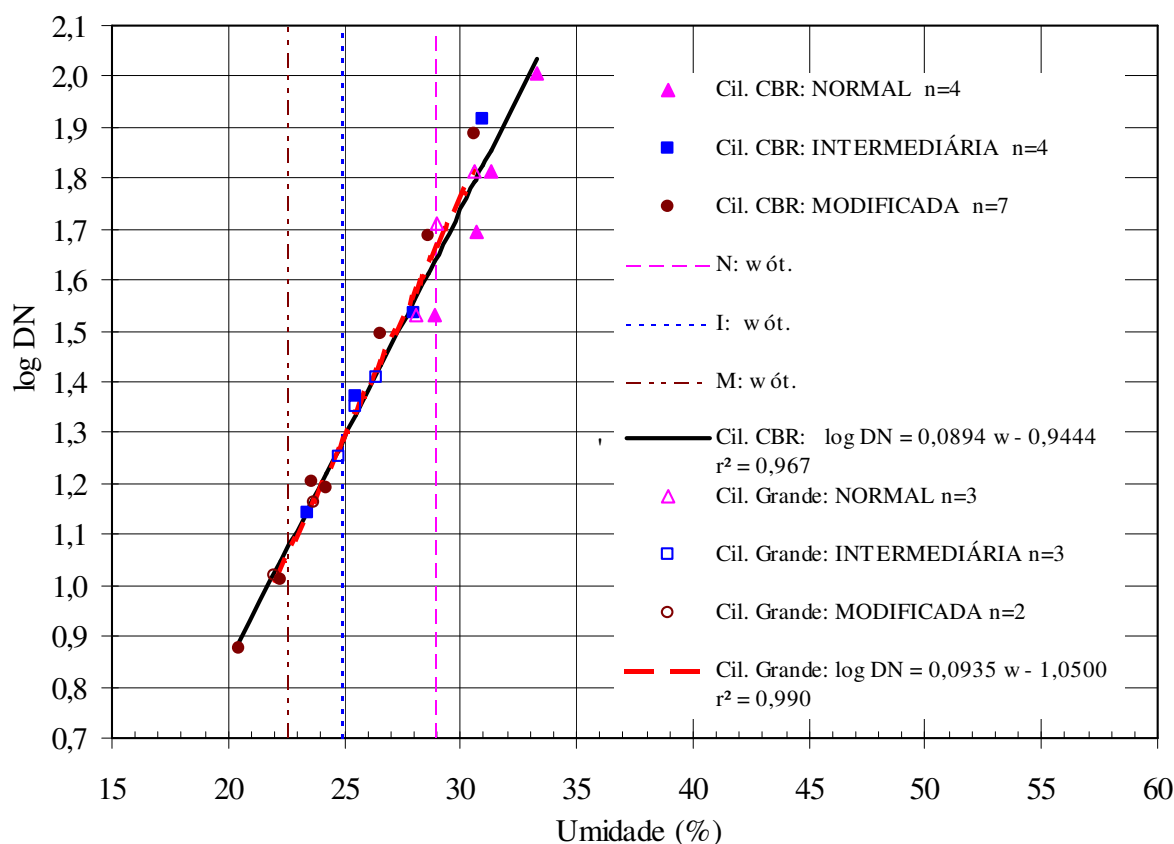


Figura 5.43: Variação do DN com a umidade do cilindro CBR e do cilindro Grande-Amostra 3.

Para essa amostra, verifica-se na Figura 5.43 que as curvas coincidem, de modo que os valores DN's obtidos no cilindro CBR e cilindro Grande são semelhantes, podendo ser empregado o cilindro CBR para a definição do DN em função da umidade.

Pode-se observar que os resultados de DN tanto no cilindro CBR e Grande são equivalentes para a Unidade Pedológica Cambissolo do horizonte B, classificado como Laterítico Argiloso pelos dois procedimentos. Isso não ocorreu no horizonte C, que foi classificado como não laterítico silto-argiloso (MCT) e não laterítico arenoso (Godoy-Bernucci), tendo-se um valor menor de DN no cilindro Grande (maior resistência) se comparado com o cilindro CBR.

Visto que o procedimento de compactação – número de camadas e energia aplicada (golpe ou prensagem) - foram idênticas para ambos os solos, a diferença de resultados de DN quanto ao tamanho de cilindro pode estar relacionada com o material (tipo de solo), ou seja, dos resultados obtidos pode-se inferir que para os solos mais argilosos (horizonte B: 52,5% de argila, 13,2% de silte e 34,3% de areia fina, média e grossa) as dimensões do molde não tem influência nos resultados de DN. Para solos com maior percentagem de areia (horizonte C: 2,8% de argila, 39,7% de silte e 57,6% de areia fina, média e grossa), o molde CBR conduziu a maiores valores de DN.

Portanto, dos resultados obtidos pode-se inferir que para solos mais argilosos as dimensões do molde não tem influência nos resultados de DN. Para solos com maior percentagem de fração areia, a realização do DCP no molde do CBR conduz a maiores valores de DN.

CAPÍTULO VI ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO

6.1 CONFEÇÃO DO ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO

Com o objetivo de se obter a espessura total do pavimento (Ht) para um dado valor de DN de campo, foram elaborados ábacos de dimensionamento, no qual a partir do conhecimento de DN e do tráfego (N) define-se a espessura total do pavimento. Os ábacos foram desenvolvidos aplicando-se os critérios definidos pelo Método do DNER/79, no qual a espessura total do pavimento é obtida através da equação 6.1 (nessa equação Ht é obtido em centímetros).

$$Ht = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad \text{equação 6.1}$$

Onde:

Ht : espessura total do pavimento (cm);

N : número equivalente de operações do Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas - USACE; e,

CBR : Índice Suporte Califórnia.

Também foram desenvolvidos ábacos empregando-se o procedimento da Prefeitura Municipal de São Paulo – *Procedimento de Dimensionamento de Pavimentos para Vias de Tráfego Leve e Muito Leve/P01*, que baseia-se no método de projetos de pavimentos flexíveis do Eng. Murilo Lopes de Souza (DNER/79) e nos métodos MD-1 e MD-3T/79 da PMSP. A Figura 6.1 ilustra as curvas de dimensionamento em função do CBR para os tráfego “N” de 10^4 (muito leve) e 10^5 (leve) do ESP de 8,2 toneladas – a espessura do pavimento é em centímetros - (PMSP,1992).

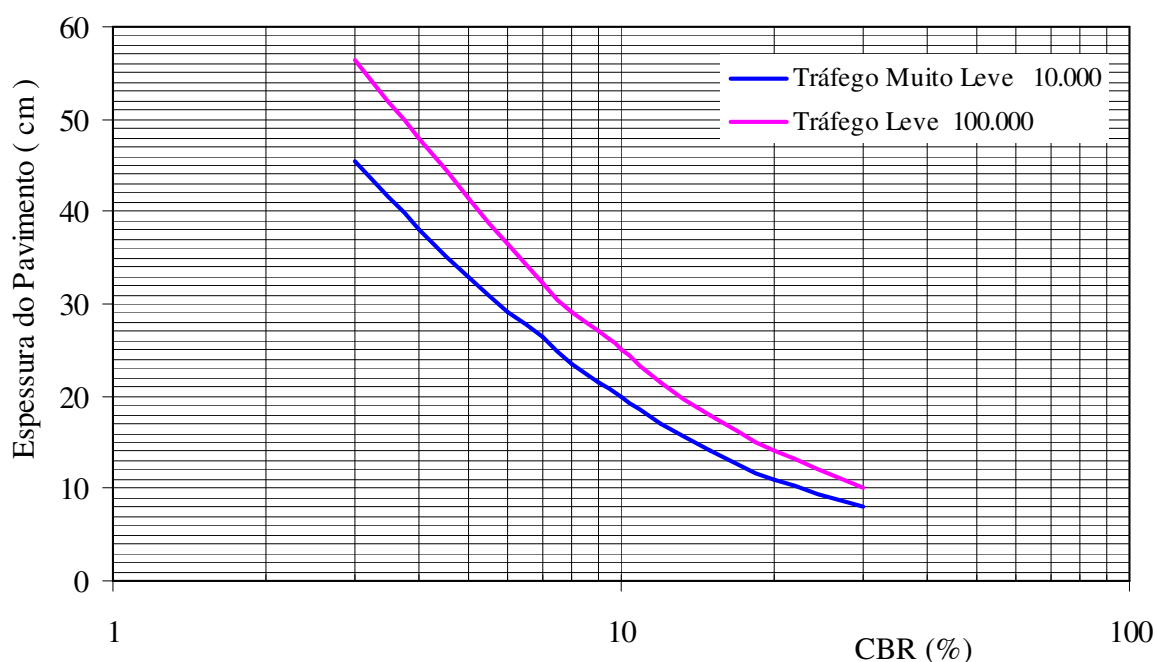


Figura 6.1: Ábaco da dimensionamento da Prefeitura Municipal de São Paulo (1992)

As curvas do ábaco de dimensionamento da PMSP para tráfego Muito Leve (10^4) e Leve (10^5) foram comparadas com a curva do DNER/79 nas mesmas condições de tráfego e resistência CBR, ilustrada na Figura 6.2. Observa-se na Figura 6.2 que há uma diferença da ordem de 100mm (10cm) entre as curvas da PMSP e do DNER/79 para os tráfegos muito leve e leve. Estas curvas são para valores de CBR $\geq 3\%$, pois no Ábaco da PMSP (Figura 6.1) o CBR mínimo para tráfego Leve é igual a 3%.

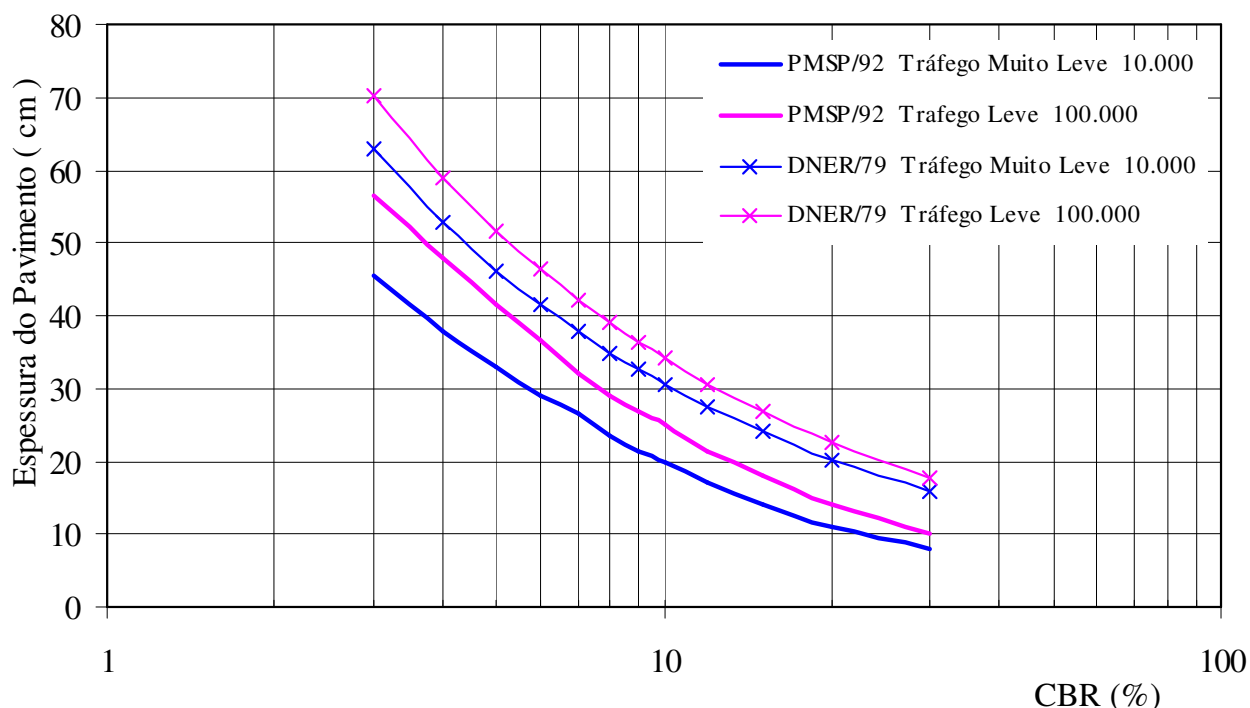


Figura 6.2: Comparação das curvas do DNER e PMSP para tráfego muito leve (10^4) e leve (10^5) solicitações do Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas.

São apresentadas as equações 6.2 e 6.3 que definem as curvas da PMSP, de mesmo modelo do DNER/79, variando-se apenas os coeficientes de regressão para tráfego muito leve (10^4) e leve (10^5), respectivamente. Estas equações foram modeladas na pesquisa, da seguinte maneira: a) substituir no modelo do DNER/79 o valor N por 10^4 , obtendo-se as curvas apresentadas na Figura 6.2 (curva rosa – observe que a curva do DNER define Ht maior que as curva da PMSP, apresentado o mesmo formato). Para definir a equação 6.2, variou-se os coeficientes de regressão da equação do DNER até que obtivesse uma sobreposição das curvas rosa. Para $N=10^5$ fez-se o mesmo procedimento.

$$Ht = 70 \times N^{0,038} \times CBR^{-0,70} \quad N=10^4 \quad \text{equação 6.2}$$

$$Ht = 80 \times N^{0,038} \times CBR^{-0,70} \quad N=10^5 \quad \text{equação 6.3}$$

com Ht, N e CBR já definidos anteriormente.

O procedimento empregado para definir o ábaco de dimensionamento, no qual determina-se a espessura do pavimento (Ht) em função da resistência DN foi o seguinte:

a) *A espessura do pavimento é dada pelo modelo da equação 6.4 (modelo do DNER/79):*

$$Ht = a \times N^b \times CBR^{-c} \quad \text{equação 6.4}$$

Onde:

a, b e c são os coeficientes de regressão da equação 6.1 e das curvas da PMSP.

b) *Para cada tipo solo ou Unidade Geotécnica é conhecida a relação CBR x DN, dada pelo modelo:*

$$\log CBR = A + B \times \log DN \quad \text{equação 6.5}$$

Onde:

A e B são coeficiente de regressão linear para cada tipo de solo/Unidade Geotécnica, definidos a partir dos resultados de laboratório.

c) *Substituindo-se na equação 6.4 a variável CBR definida obtida pela equação 6.5, tem-se:*

$$Ht = a \times N^b \times [10^{(A + B \times \log DN)}]^{-c} \quad \text{equação 6.6}$$

Onde:

Ht : espessura do pavimento, em termos de material granular, em cm;

N : nº. equivalente de operações do Eixo Simples Padrão de 8,2 toneladas - USACE;

DN : resistência do solo obtida com o equipamento DCP, (Índice de Penetração DN) em mm/golpe;

a, b e c: coeficientes da equação 6.1 (DNER/79) ou das curvas de dimensionamento da PMSP (equação 6.2 e 6.3); e,

A, B: coeficiente da regressão linear simples da relação CBR x DN de cada solo ou Unidade Geotécnica.

Portanto, seguindo as especificações vigentes quanto a resistência e expansão, foram definidos ábacos para as Amostras 1, 2 e 3 para corpo de aterro, regularização e reforço.

Na seqüência são apresentadas as Figuras dos Ábacos 1 a 8 das amostra 1, 2 e 3. O *Anexo 3: Ábaco de Dimensionamento da Unidade Geotécnica de Cambissolo substrato Granitóide* estão em escala maior para definir o Ht em função de DN.

6.2 ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO PARA O CAMBISSOLO – HORIZONTE C - SAIBRO (AMOSTRA 1)

Os resultados do Quadro 5.11 mostraram valores de CBR elevados e expansões baixas. Para as umidades ótimas nas três energias de compactação obteve-se CBR variando de 24% a 67%, respectivamente da Normal a Modificada. As expansões obtidas foram menores que 0,5%, mesmo no ramo seco das curvas de compactação.

A norma DNER-ES 282/97-Terraplenagem-aterros, orienta que “na execução do corpo de aterros não será permitido o uso de solos de baixa capacidade de suporte ($ISC < 2\%$) e expansão maior do que 4%”, e (...) que “a camada final dos aterros deverá ser constituída de solo selecionado na fase de projeto (...). Não será permitido o uso de solos com expansão maior que 2%”.

Também, os materiais para reforço do subleito devem apresentar um CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$. (PINTO e PREUSSLER, 2001).

Portanto, o saibro (Cambissolo, horizonte C saprolítico), atende aos valores de mínimos CBR e expansão especificados, podendo ser empregado como material de solo de fundação (material de empréstimo), regularização da camada final de terraplenagem, reforço do subleito e sub-base e até como base compactada na energia Modificada.

Para este solo, emprega-se a relação CBR x DN, dada pela equação 6.7:

$$\log CBR = 2,6209 - 1,0040 \times \log DN \quad r^2 = 0,897 \quad \text{equação 6.7}$$

com CBR e DN já definidos.

No dimensionamento, a equação 6.7 deve ser empregada para os intervalos de DN de 9mm/golpe $< DN \leq 14\text{mm/golpe}$, que correspondem, respectivamente aos $CBR = 46\%$ e $CBR \cong 29\%$ e com umidade “in situ” variando no intervalo de $11\% \leq \omega \leq 9\%$ para as resistências definidas. Assim, se for constatada “in situ” uma camada com este material e espessura mínima de 600mm, esta

camada pode ser considerada como solo de fundação – corpo de aterro. Dependendo do perfil, camadas com este material poderão fazer parte da constituição da estrutura do pavimento como reforço do subleito e sub-base.

Em campo, deve-se verificar a resistências “in situ” e a umidade do material. As Figuras 6.3 e 6.4 ilustram ábacos de dimensionamento para subleito (600mm) com este material para as curvas do PMSP/92 e DNER/79, respectivamente.

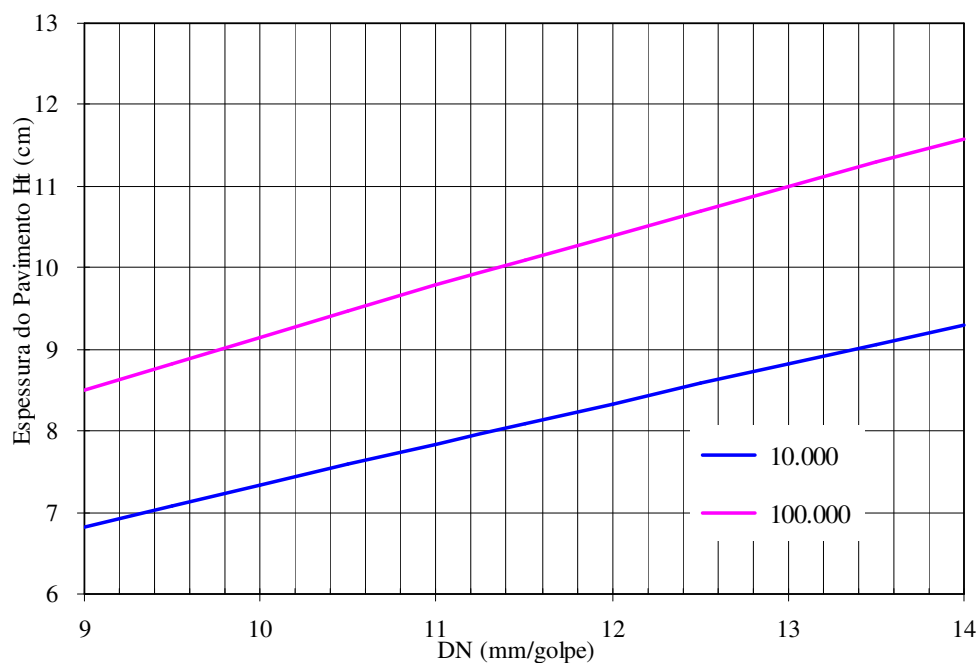


Figura 6.3: ÁBACO 1 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprolítico (saibro), grupo NA' (MCT): Corpo de Aterro “in situ” PMSP/92.

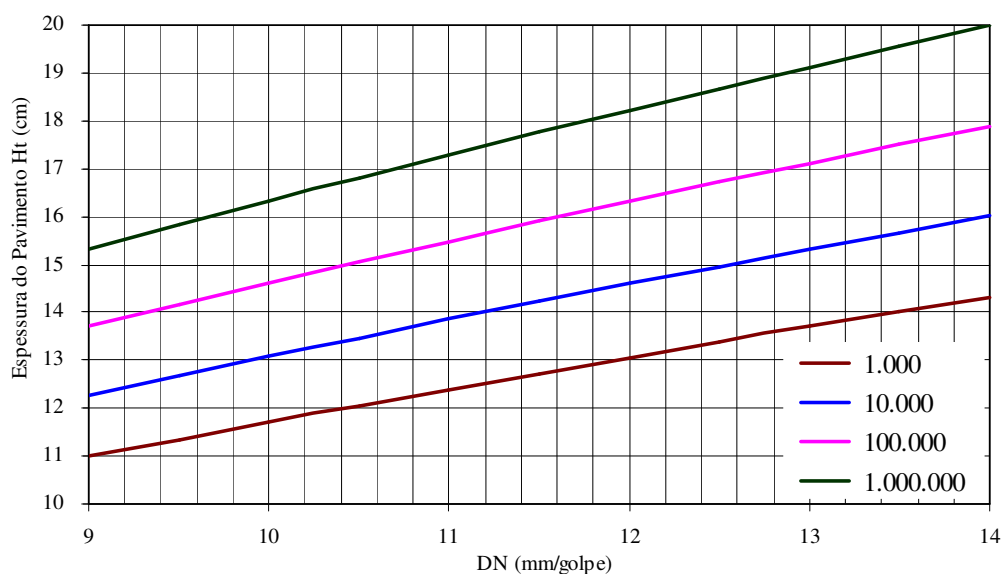


Figura 6.4: ÁBACO 2 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprolítico (saibro), grupo NA' (MCT): Corpo de Aterro “in situ” DNER/79.

6.3 ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO PARA O CAMBISSOLO – HORIZONTE C (AMOSTRA 2)

Os resultados do Quadro 5.14 mostraram valores de CBR baixos e expansões elevadas. Na energia Normal e umidade de 21,2% (próxima da ótima), o CBR foi de 3,7% e a expansão de 3,5%. Na energia Intermediária e umidade de 19,7% (muito próxima da ótima), o CBR foi de 4,9% e a expansão de 4,7%.

A norma DNER-ES 282/97-Terraplenagem-aterros, orienta que “na execução do corpo de aterros não será permitido o uso de solos de baixa capacidade de suporte ($ISC < 2\%$) e expansão maior do que 4%”. Também, “os solos para os aterros deverão ser isentos de matérias orgânicas, micáceas e diatomáceas. Turfas e argilas orgânicas não devem ser empregadas”.

Assim, esse solo natural (horizonte C) atende os limites de suporte e expansão *apenas* na energia Normal e, também, não é recomendado como material de aterro (material de empréstimo), por apresentar partículas micáceas.

Nas áreas residenciais, este solo nas condições “in situ” pode ser empregado como corpo de aterro para tráfego Leve e Muito Leve. Também, pode ser empregado como camada final de terraplenagem no caso de pavimentação com lajotas.

Emprega-se a relação CBR x DN definida anteriormente, dada pela equação 6.8:

$$\log CBR = 1,6884 - 0,7360 \times \log DN \quad r^2 = 0,951 \quad \text{equação 6.8}$$

com CBR e DN já definidos.

No dimensionamento, a equação 6.8 deve ser empregada para os intervalos de DN de $29\text{mm/golpe} < DN \leq 44\text{mm/golpe}$, que correspondem, respectivamente aos $CBR = 4,09\%$ e $CBR = 3,01\%$ e com umidade “in situ” variando no intervalo de $21\% \leq \omega \leq 25\%$ para as resistências definidas.

Portanto, este solo deve ser empregado apenas como *Solo de Fundação – Corpo de Aterro* nas condições “in situ”, atendendo as resistências e umidades acima para a energia de compactação NORMAL.

As Figuras 6.5 e 6.6 ilustram os ábacos obtidos para as curvas do PMSP/92 e DNER/79, respectivamente.

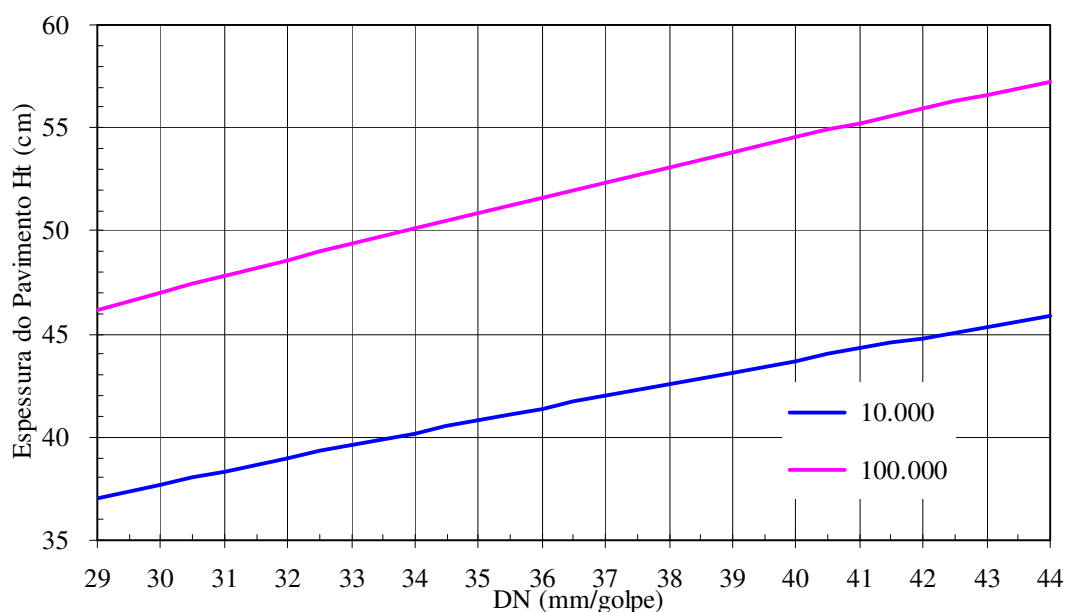


Figura 6.5: ÁBACO 3 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

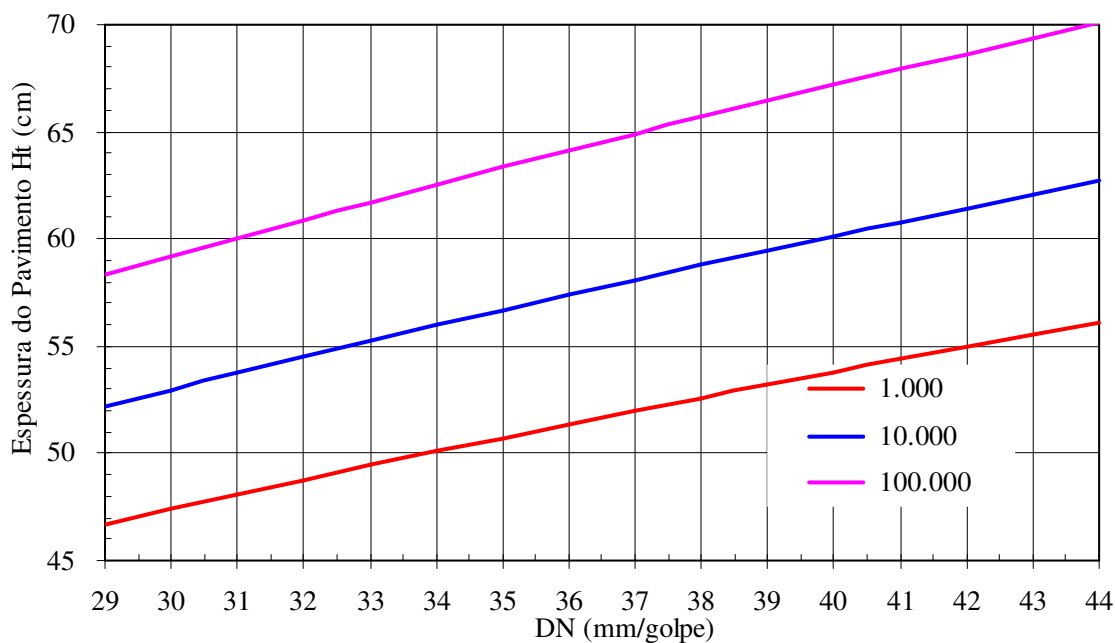


Figura 6.6: ÁBACO 4 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro “in situ”, DNER/79.

6.4 ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO PARA O CAMBISSOLO – HORIZONTE B (AMOSTRA 3)

Os resultados do Quadro 5.17 mostraram valores de CBR variando de 5,5% (energia Normal) a 22,6% (energia Modificada) e expansões abaixo de 1%.

A norma DNER-ES 282/97-Terraplenagem-aterros, orienta que “a camada final dos aterros deverá ser constituída de solo selecionado na fase de projeto (...). Não será permitido o uso de solos com expansão maior que 2%”.

Também, os materiais para reforço do subleito devem apresentar um CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$.(PINTO e PREUSSLER, 2001).

Portanto, o solo natural na condição “in situ” pode ser empregado como corpo de aterro (600mm), bem como reforço e/ou camada de regularização-camada final do aterro dentro de um limite de DN e umidade. A relação CBR x DN dada pela equação 6.9:

$$\log CBR = 2,5119 - 1,1145 \times \log DN \quad r^2 = 0,938 \quad \text{equação 6.9}$$

com CBR e DN já definidos anteriormente.

São definidos ábacos de dimensionamento para *Solo de Fundação – Corpo de Aterro* e para *Regularização ou Reforço*.

a) Ábaco de Dimensionamento para Corpo de Aterro – condição “in situ”

No dimensionamento, a equação 6.9 deve ser empregada para os intervalos de DN de 31mm/golpe < DN ≤ 65mm/golpe, que correspondem, respectivamente aos CBR= 7,1% e CBR= 3,1% e com umidade “in situ” variando no intervalo de 28% ≤ ω ≤ 31% para as resistências definidas, para compactação na energia Normal. As Figuras 6.7 e 6.8 ilustram os ábacos para PMSP/92 e DNER/79, respectivamente.

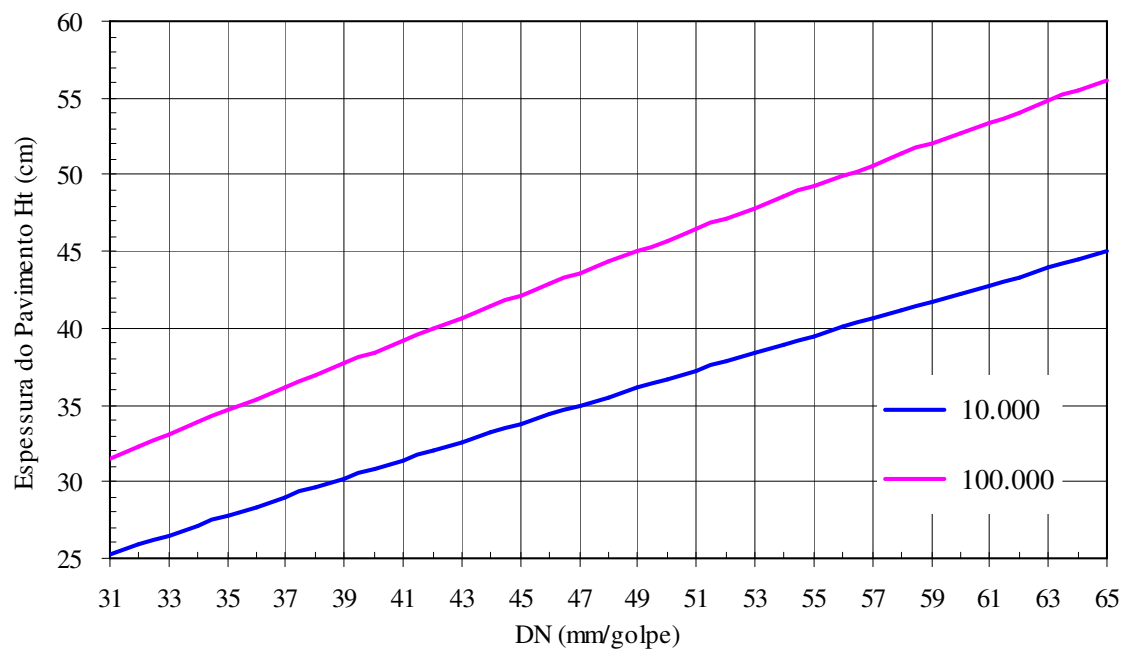


Figura 6.7.: ÁBACO 5 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG’
(MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

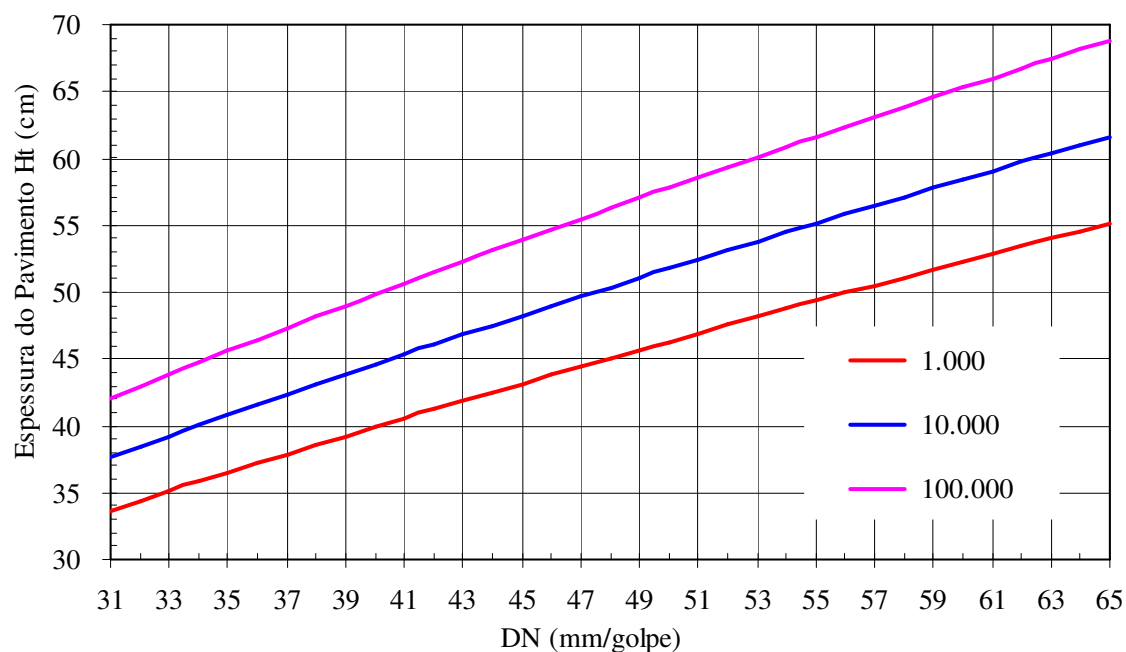


Figura 6.8: ÁBACO 6 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG’
(MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, DNER/79.

b) Ábaco de Dimensionamento para Regularização ou Reforço - condição “in situ” ou “recompactado”

No dimensionamento, a equação 6.9 deve ser empregada para os intervalos de DN de $15\text{mm/golpe} < \text{DN} \leq 30\text{mm/golpe}$, que correspondem, respectivamente aos $\text{CBR} = 15,9\%$ e $\text{CBR} = 7,3\%$ e com umidade “in situ” variando no intervalo de $23,6\% \leq \omega \leq 27,4\%$ para as resistências definidas, na energia Intermediária. As Figuras 6.9 e 6.10 ilustram os ábacos para DNER/79 e PMSP/92, respectivamente.

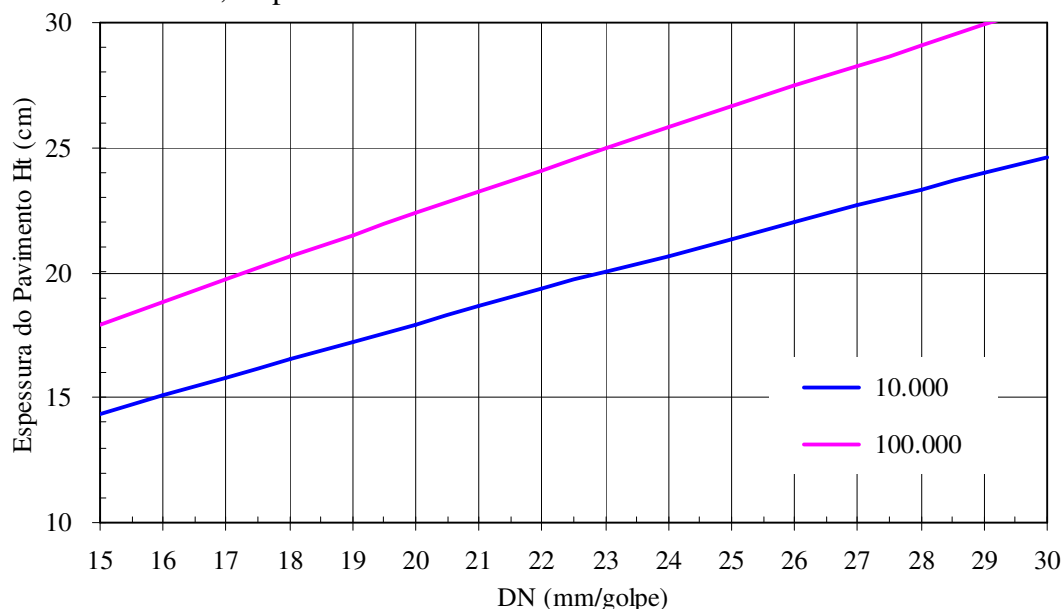


Figura 6.9: ÁBACO 7 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG’ (MCT) : Regularização/Reforço, PMSP/92.

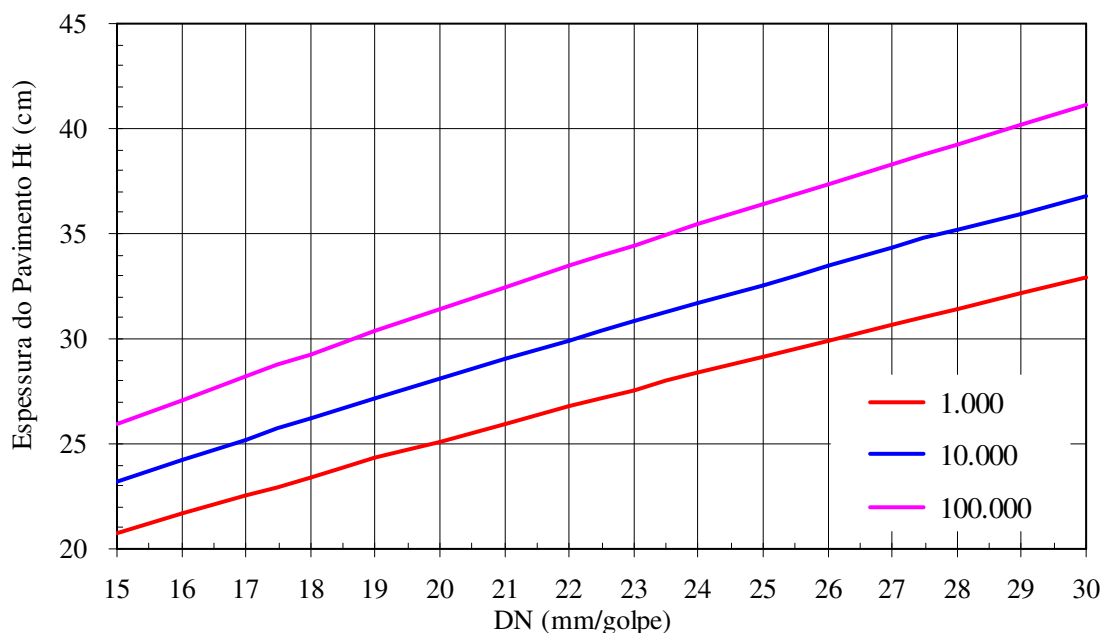


Figura 6.10: ÁBACO 8 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG’ (MCT) : Regularização/Reforço, DNER/79.

CAPÍTULO VII APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

7.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DA UMIDADE DOS PERFIS DE SOLO DAS VIAS NÃO PAVIMENTADAS

A resistência e umidade “in situ” foram determinadas em 50 seções transversais (Jardim Acarai) com o DCP, espaçadas aproximadamente a cada 50m, sendo executados três ensaios de DCP na seção, um no eixo (EX), um na trilha de roda externa direita (TRLR) e um na trilha de roda externa esquerda (TRLE). Em algumas seções foram executadas de 4 ou 5 ensaios de DCP. A distância entre o eixo e as trilhas de roda variava entre 2 a 3 metros.

Adotou-se o seguinte procedimento para o ensaio DCP:

- Visualmente, marcava-se na seção transversal, o eixo da via e os dois pontos nas trilhas de roda externa;
- Com um ponteiro de $\cong 25\text{mm}$ diâmetro, abriu-se no solo um furo até uma profundidade de 50 a 100mm. Esta camada foi desconsiderada na curva DCP, pois geralmente encontrava-se muito seca;
- Posicionado verticalmente o DCP com a ponta cônica, na abertura feita com o ponteiro, aplicava-se um primeiro golpe sem levantar totalmente o martelo de 8kg, de forma a permitir uma pequena penetração do cone e a mobilização total da resistência da ponta, anotando-se a leitura Zero na planilha de campo; e,
- Iniciava-se a cravação do cone, anotando-se a leitura de penetração para cada golpe do martelo até uma profundidade de aproximadamente de 800 a 1000mm.

Finalizada a determinação da resistência, iniciava-se a coleta de amostra para a determinação de umidade “in situ”. Na coleta das amostras foi empregado um tubo amostrador de 16mm de diâmetro por 150mm de comprimento, desenvolvido durante a dissertação, o qual pode ser adaptado ao DCP para a sua cravação, como ilustrada na Figura 7.1.

A coleta da amostra para a determinação de umidade era feita a uma distância de 50 a 100mm do ponto de determinação da resistência “in situ”, como ilustra a Figura 7.2. Procurou-se determinar a umidade em 2 a 3 pontos de cada seção transversal. As amostras eram coletadas em diferentes

profundidades, de modo a se conhecer a variação da umidade ao longo do perfil do solo na seção transversal.

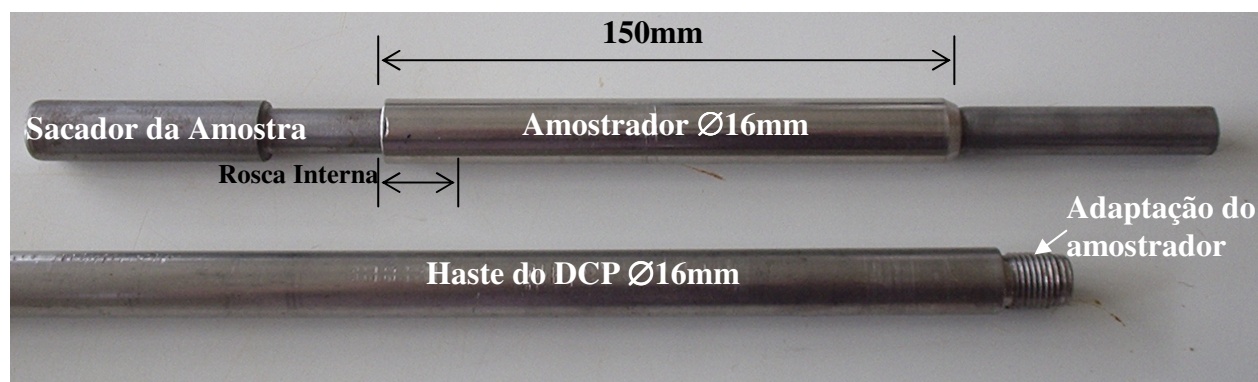


Figura 7.1: Haste do DCP e tubo amostrador de 16mm de diâmetro por 150mm de comprimento.



Figura 7.2: Furo DCP (menor) e furo para umidade (maior).

As Figuras 7.3 e 7.4 ilustram as amostras coletadas no Jardim Acarai, no perfil de solo da Unidade Pedológica Cambissolo, respectivamente, no horizonte B e C, para determinação de umidade, dispostas na sequência de coleta.



Figura 7.3: Coleta de amostra para a determinação de umidade no perfil de solo do horizonte B da Unidade Pedológica Cambissolo, na rua Fabrício Maia Moreira, seção 2, posição TRLD.



Figura 7.4: Coleta de amostra para a determinação de umidade no perfil de solo do horizonte C da Unidade Pedológica Cambissolo, na rua Ângelo Brehn, seção 22, posição TRLE.

As amostras de solo eram acondicionadas em cápsulas de alumínio com tampa, numeradas e colocadas em uma caixa de isopor. A determinação de umidade foi feita pelo método da estufa.

Finalizado os serviços de campo, os dados foram processados, obtendo-se a curva DCP e o diagrama de umidade no perfil de sondagem em cada seção. A Figura 7.5 ilustra como são apresentadas as curvas DCP e os diagramas de umidade nas seções transversais investigadas.

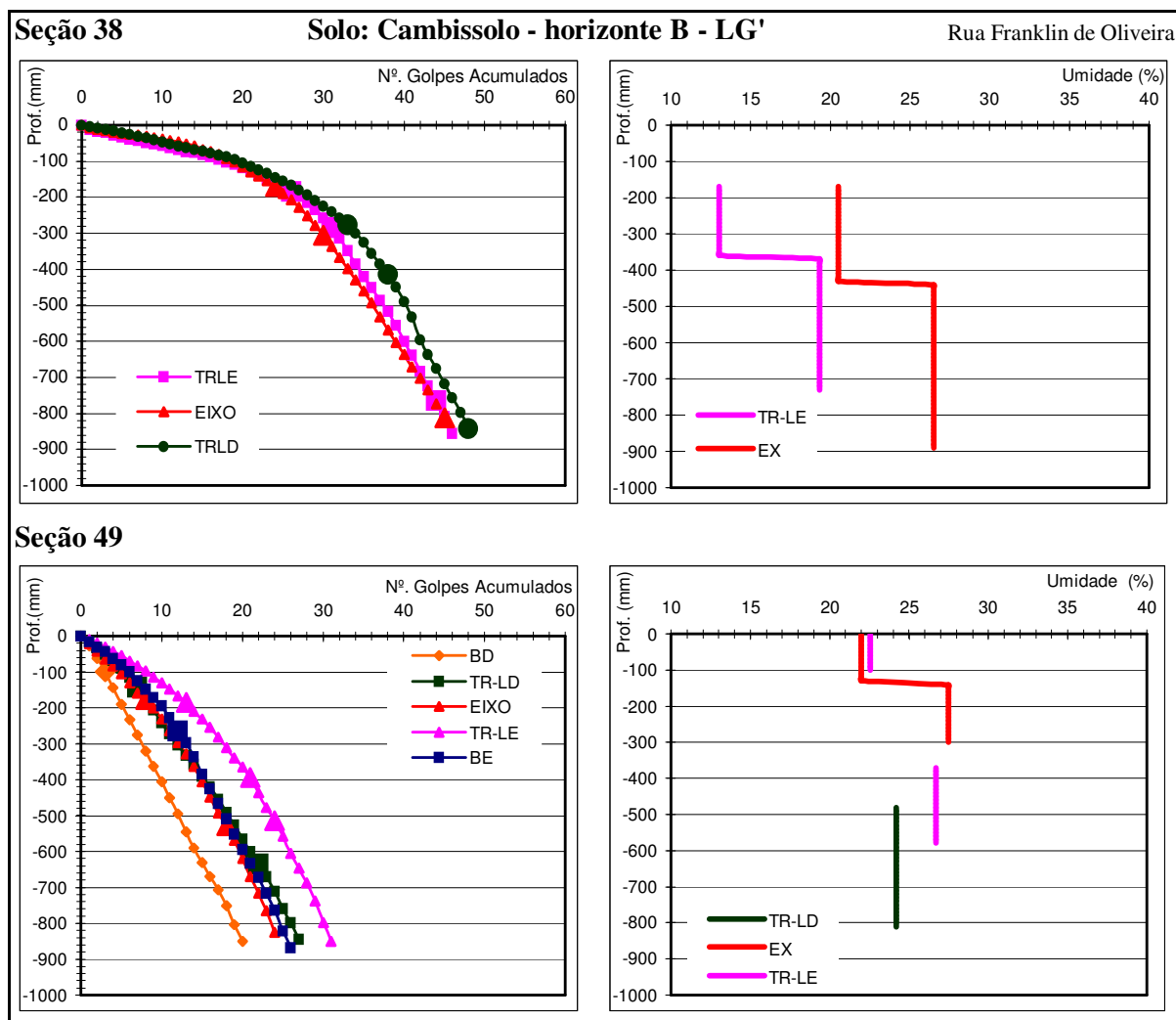


Figura 7.5: Curva DCP e diagrama de umidade por seção transversal.

A Figura 7.6 ilustra os eixos das vias e a localização das seções investigadas no bairro Jardim Acarai, Unidade Pedológica Cambissolo (Ca1). Procurou-se verificar “in situ”, durante a investigação, se o leito da via estava assente em horizonte B ou C. Na Figura 7.6 foi delimitada uma área (linhas tracejadas) do bairro onde o leito das vias estão assente no horizonte C, estando as demais vias no horizonte B.

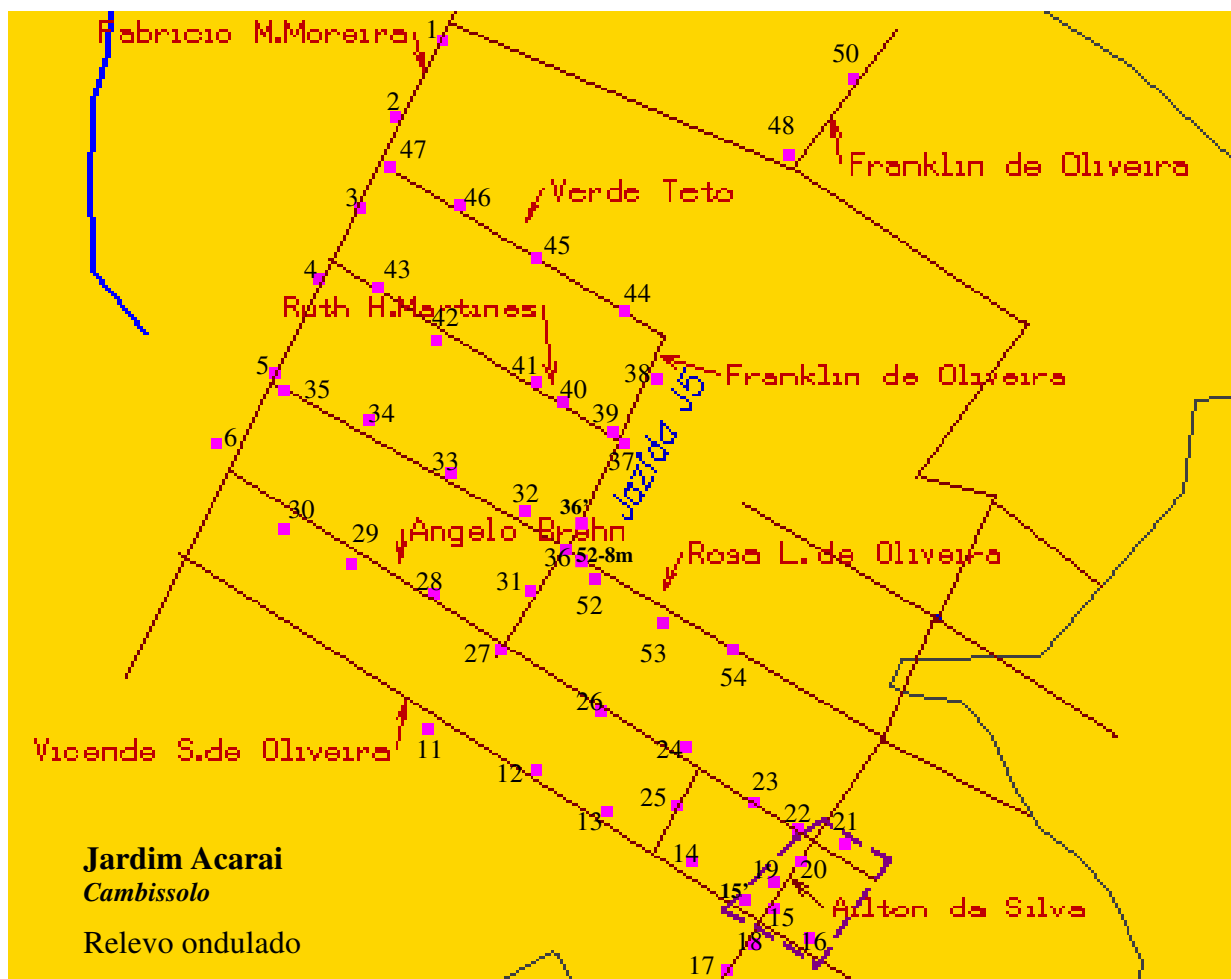


Figura 7.6: Eixo das vias e localização das seções investigadas no bairro Jardim Acarai.

A Figura 7.7 ilustra algumas amostras secas coletadas nas vias em horizonte C (área delimitada da Figura 7.6). Nos pacotes foram anotados: números da seção investigada e posição do ensaio DCP (em preto), dispostas na ordem de coleta com o aumento da profundidade.

A coleta de amostra para determinação de umidade no perfil de solo, possibilitou identificar o tipo de horizonte amostrado permitindo-se, assim, empregar a relação CBR x DN definida para cada horizonte e estimar o valor de CBR com maior precisão.



Figura 7.7: Amostras do horizonte C do bairro Jardim Acarai, na rua Ailton da Silva e contorno.

7.2 DEFINIÇÃO DO DN E DA UMIDADE DO SOLO DE FUNDAÇÃO

A Figura 7.8 ilustra uma curva DCP da seção transversal nº.38 na posição TRLD referente à Unidade Pedológica Cambissolo, horizonte B.

Para a determinação do DN de cada curva DCP, procede-se da seguinte maneira:

- Traça-se uma tangente na parte superior da curva DCP, passando pela origem da curva; e;
- Traça-se uma outra tangente na parte final da curva DCP.

A interseção das duas tangentes definirá:

- A espessura da camada superior do perfil. É muito provável que esta camada seja cortada na regularização. Portanto, ela não é considerada para efeitos de definição do DN do solo de fundação;
- A espessura da camada do solo de fundação, parte inferior da curva, que determinará o valor de DN. O valor de DN é a *inclinação da reta da parte inferior da curva DCP*, ou seja, é razão entre a profundidade e o número de golpes necessários para penetrá-la.

Na Figura 7.8 observa-se a interseção das tangentes da parte superior e inferior da curva DCP, definindo-se na parte inferior da curva a profundidade do solo de fundação investigada.

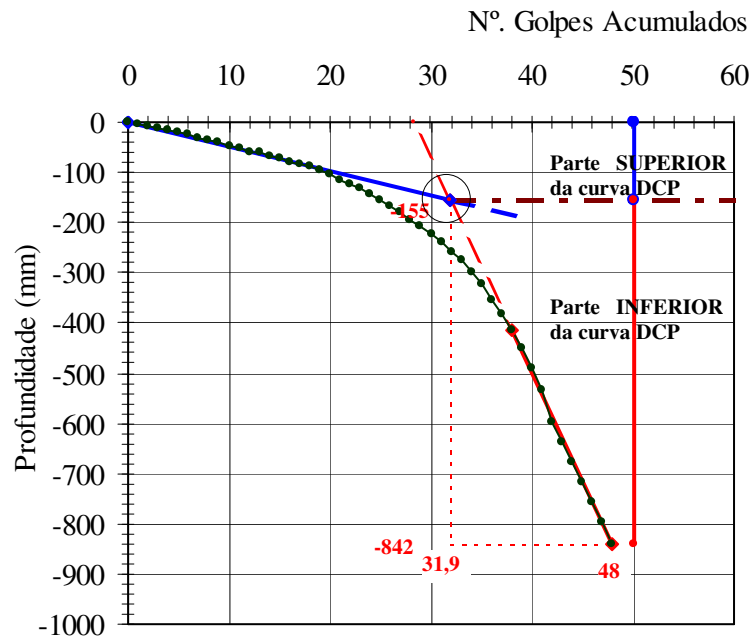


Figura 7.8: Curva DCP na posição TRLD da seção nº.38.

Portanto, o DN do solo de fundação é dado por:

$$DN = \left(\frac{P_{final} - P_{interseção}}{G_{final} - G_{interseção}} \right) \quad \text{equação 7.1}$$

Onde:

- P_{final} : profundidade final alcançada pelo DCP (última leitura do DCP);
- $P_{interseção}$: profundidade definida na interseção da parte superior e inferior das tangentes (obtido no gráfico);
- G_{final} : número acumulado de golpes da última leitura do DCP; e,
- $G_{interseção}$: número acumulado de golpes definido na interseção da parte superior e inferior das tangentes (obtido no gráfico).

Assim, na posição TRLD, da seção nº.38, tem-se:

$$\begin{aligned} P_{final} &= 842\text{mm} & \therefore & G_{final} = 48 \text{ golpes} \\ P_{interseção} &= 155\text{mm} & \therefore & G_{interseção} = 31,9 \text{ golpes} \end{aligned}$$

$$\therefore DN = \left(\frac{842 - 155}{48 - 31,9} \right) = 42,7\text{mm / golpe}$$

A Figura 7.9 ilustra as curvas DCP de três pontos investigados na seção nº.38. Definem-se os seguintes DN para o solo de fundação:

- na posição TRLE, obteve-se um DN = 36,8mm/golpe (*inclinação da reta da parte final da curva DCP*), ou seja, para penetrar 479mm de haste foram necessário 13 golpes;
- na posição EIXO, obteve-se um DN = 33,8mm/golpe, isto é, para penetrar 508mm foram necessários 15 golpes; e,
- na posição TRLD obteve-se um DN = 42,7mm/golpe, ou seja, para penetrar 427mm foram necessários 10 golpes.

Assim, na mesma seção são definidos três valores de DN para o solo de fundação. O valor de DN a ser adotado para definir Ht será a média dos 3 valores ou o maior valor numérico, que corresponde a menor resistência encontrada na seção investigada.

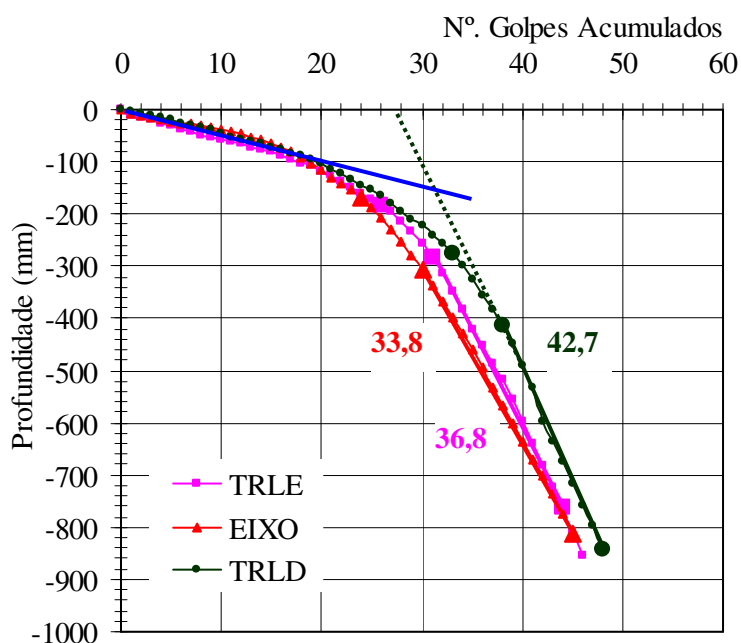


Figura 7.9: Curva DCP em três posições da seção nº.38.

Adotando-se o critério de menor resistência, foi considerado na seção nº.38, um DN de solo de fundação de 42,7mm/golpe, como representativo da resistência “in situ” do solo de fundação, a partir da profundidade de -155mm da curva DCP (parte inferior). Deve-se considerar o acréscimo da perfuração com o ponteiro (5-10cm) à cota da profundidade identificada na curva DCP, para ter a cota do revestimento primário existente.

A Figura 7.10 ilustra o diagrama de umidade da seção nº.38, com amostras coletadas nas posições TRLE e EIXO. Como não foi determinada a umidade na posição TRLD, onde obteve-se a menor resistência do solo de fundação, foi considerada como umidade do solo de fundação o maior valor de umidade, visto que há uma relação entre DN e umidade. Também, poder-se-ia definir a umidade em uma seção como a média dos valores individuais quando a diferença entre os valores não seja significativa.

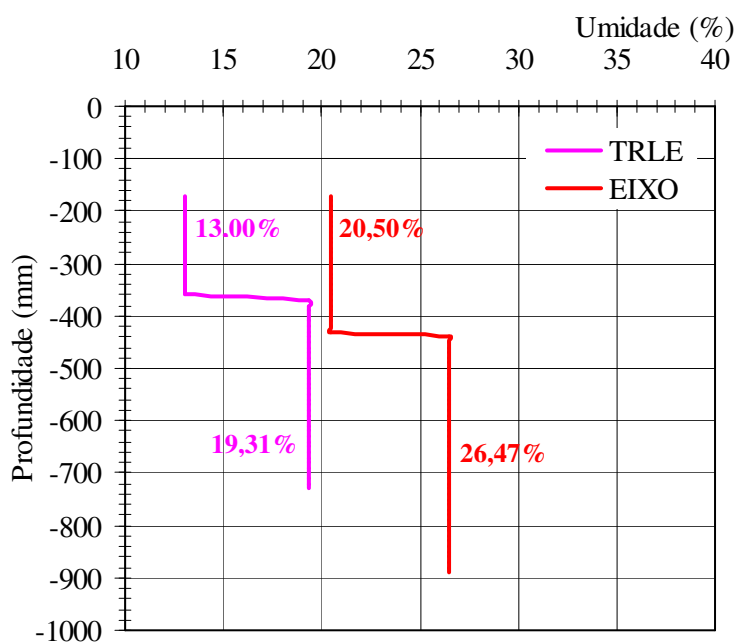


Figura 7.10: Diagrama de umidade na seção nº.38 em duas posições.

Portanto, nesta seção a umidade considerada para o solo de fundação foi de $\cong 26,5\%$.

Assim, na seção nº.38, foi definido para o solo de fundação uma resistência DN de 42,7mm/golpe e uma umidade de 26,5%.

No Anexo 2 - Curva DCP e Diagrama de Umidade são apresentados as Curvas DCP e Diagramas de Umidade das 50 seções investigadas, sendo indicado ao lado o valor de DN (maior valor) e umidade (média ou valor individual) considerada na profundidade do solo de fundação.

7.3 RESULTADOS DO DN E UMIDADE “IN SITU” POR RUA

No Quadro 7.1 são apresentados os resultados de DN e umidade “in situ” para solo de fundação das 7 seções investigadas no horizonte C, grupo NS’-NG’.

No Quadro 7.2 são apresentados os resultados de DN e umidade “in situ” para solo de fundação das 43 seções investigadas no horizonte B, grupo LG’.

Quadro 7.1: DN e umidade “in situ” do horizonte C do bairro Jardim Acarai.

Seção	DN (mm/golpe)	Umidade “in situ” (%)
<i>Rua Ailton da Silva</i>		
15	45,7	21,64
15’	23,0	21,37
16	39,4	20,91
19	41,4	24,07
20	55,4	21,82
21	39,0	23,16
22	42,0	20,10

Ouadro 7.2: DN e umidade “in situ” do horizonte B do bairro Jardim Acarai.

Seção	DN (mm/golpe)	Umidade “in situ” (%)
<i>Rua Fabrício Maia Moreira</i>		
1	52,2	24,23
2	47,8	36,70
3	44,3	30,87
4	50,6	22,59
5	80,3	36,65
6	104,5	20,61
<i>Rua Vicente S. de Oliveira</i>		
11	26,0	28,18
12	46,4	30,63
13	74,5	37,70
14	34,0	33,76
<i>Rua Ailton da Silva</i>		
17	66,0	32,48
18	47,6	25,89
<i>Rua Ângelo Brehn</i>		
23	35,0	27,43
24	34,8	25,84
25	20,9	20,90
26	40,0	26,16
27	35,9	27,03
28	92,3	34,19
29	68,9	27,64
30	49,7	29,97

Seção	DN (mm/golpe)	Umidade “in situ” (%)
<i>Rua Rosa L. de Oliveira</i>		
32	42,9	23,55
33	34,8	25,51
34	55,7	25,27
35	50,3	30,14
52	37,9	28,78
53-8m	34,1	30,01
53	63,3	27,99
54	37,3	25,42
<i>Rua Ruth N. Martines</i>		
39	44,8	25,05
40	37,1	26,89
41	52,0	24,45
42	49,4	25,85
<i>Rua Verde Teto</i>		
44	38,7	26,89
45	48,8	26,56
46	51,7	32,24
47	37,7	30,54
<i>Rua Franklin de Oliveira</i>		
31	46,8	27,70
36	31,4	30,00
36'	35,1	30,00
37	42,3	30,02
38	42,8	26,47
49	49,7	27,09
50	90,7	34,95

7.4 DEFINIÇÃO DE DN PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Foi constatado nos ensaios de laboratório e pelos critérios estatísticos que o DN tem uma relação significativa com a umidade do solo compactado nas energias Normal, Intermediária e Modificada.

Medina e Mota (1997) citam “que as condições de clima e solos tropicais determinam uma abordagem diferente de dimensionamento de pavimentos. A umidade de equilíbrio dos subleitos, por determinações “in situ” em poços e trincheiras, revelou-se inferior ou igual ao teor ótimo do ensaio de compactação Proctor Normal”.

Assim, é de se esperar que após o recobrimento do subleito com o pavimento, a umidade do subleito tende a entrar em equilíbrio ao redor da umidade ótima do solo, ou seja, se o solo encontra-se compactado no ramo seco, ele tenderá a absorver água por sucção; por outro lado, se o solo encontra-se compactado no ramo úmido, a umidade tenderá a se aproximar da região da umidade ótima. Logo, é de se esperar que na primeira situação, o solo tenderá a perder resistência enquanto que na segunda situação, ele tenderá a ganhar alguma resistência.

Vertamatti e Oliveira (1997) observaram um trecho de via urbana durante 8 meses onde foram realizadas periodicamente determinações da resistência DN, umidade ao longo do perfil das camadas e medidas de deflexão com a viga Benkelman junto ao eixo e bordos direito e esquerdo. O trecho em 127m de comprimento por 6,5m de largura é constituído de subleito natural, 10cm de subleito compactado e 20cm de base, ambos executados com solos transicionais da região do Vale da Paraíba, leste do Estado de São Paulo e 4cm revestimento asfáltico CBUQ. O solo transicional (T) de subleito foi classificado como grupo TA'G' e o da base como grupo TG', com cerca 50% de teor de argila.

Foi constatado pelos autores, que “ocorreram aumentos sensíveis de umidade durante o período das medições, notadamente nas regiões superiores das camadas de base e subleito compactado, tendo havido ressecamento após a sua construção. Entretanto, mesmo tendo ocorrido intensas precipitações pluviométricas (...) durante os meses de março, outubro e dezembro de 1996, os teores de umidade praticamente não excederam os valores ótimos dos solos empregados, mesmo próximo as bordas das ruas”. Eles constataram que “esses teores, com o tempo, aumentaram até

estabilizarem-se em valores ligeiramente inferiores ao ótimo no eixo e ligeiramente superiores nos bordos”.

Com base no princípio que a umidade entra em equilíbrio com relação a umidade ótima após o período de construção, definem-se os valores de DN para dimensionamento. Portanto, após a construção do pavimento, ocorre um aumento ou diminuição do DN quando a umidade entrar em equilíbrio. Assim, os DNs considerados para o dimensionamento da espessura total do pavimento serão os valores DN no entorno da umidade ótima (equilíbrio) da energia Proctor Normal.

A Figura 7.11 ilustra um esquema de tendência do equilíbrio da umidade para o solo do horizonte B de Cambissolo estudado nesta pesquisa. Nesta, são indicados para o solo de fundação o valor máximo de DN de 65mm/golpe (CBR = 3,1%) e mínimo de 31mm/golpe (CBR = 7,0%), o valor de DN na umidade ótima do Proctor Normal e seu intervalo de ± 2 p.p. e três pontos ilustrativos de DN e umidade “in situ”. A equação de regressão da Figura 7.11 é idêntica ao da Figura 5.34 (Amostra 3), mudando-se apenas a escala de DN na ordenada, passando-se de logarítmica para decimal, para facilitar a análise de DN.

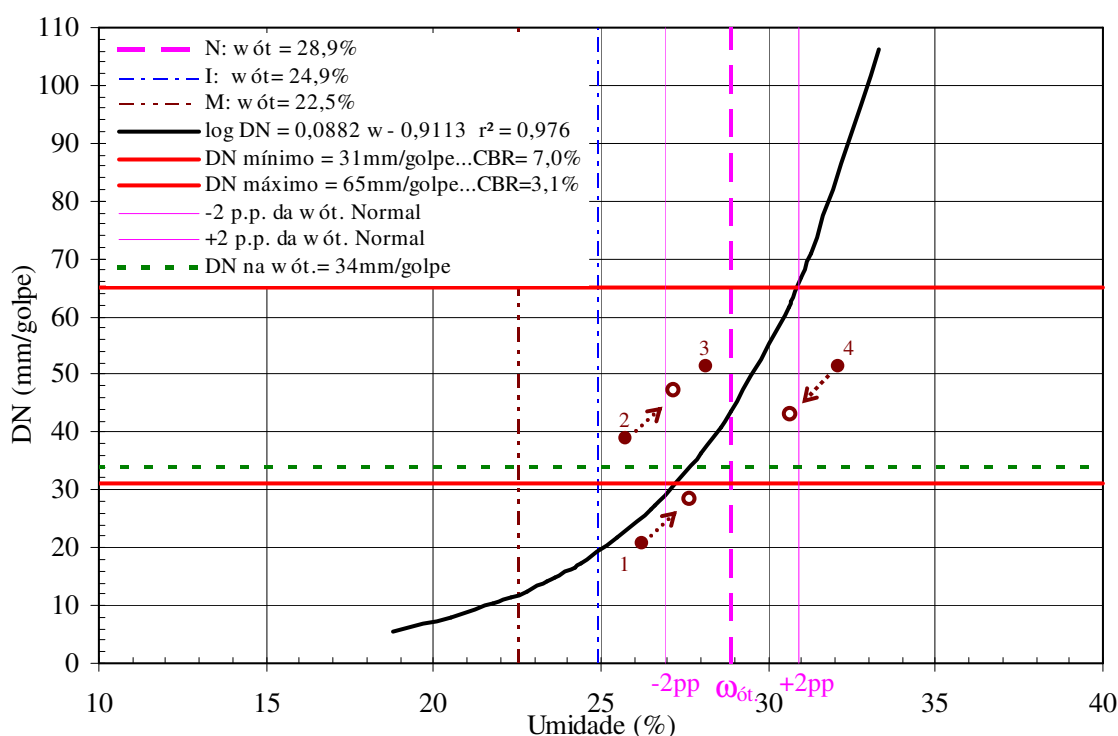


Figura 7.11: Flutuação de DN e umidade “in situ” do solo de fundação no entorno da energia Normal após construção da estrutura do pavimento – Cambissolo – horizonte B.

Valores de DN acima de 65mm/golpe indicariam uma baixa capacidade de suporte e seria recomendado a sua substituição.

Ressalta-se que não se avaliou nesta pesquisa como ocorre a flutuação do DN com a variação da umidade para pontos acima ou abaixo da curva obtida. Intuitivamente, acredita-se que ela se processa em linhas aproximadamente paralelas à curva obtida.

7.5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO

Num trecho de aproximadamente 190m, onde foram investigadas 6 seções (nºs.38, 37, 36, 36', 31 e 27 - rua Franklin de Oliveira), obteve-se os pontos DN e Umidade “in situ” para o horizonte B, indicados no Quadro7.3.

Quadro7.3: Solo de Fundação, DN e umidade “in situ” da rua Franklin de Oliveira, horizonte B – grupo LG’.

Seção	DN (mm/golpe)	Umidade “in situ” (%)
38	42,7	26,47
37	42,3	30,02
36	31,4	29,68
36'	35,1	30,28
31	46,8	27,70
27	35,9	27,04

Na Figura 7.12 são ilustrados os pontos de DN's e umidades obtidos no trecho da rua Franklin de Oliveira. A interpretação destes pontos em relação a curva DN x umidade é que os pontos abaixo dela estão compactados com uma energia maior, enquanto que acima dela, os pontos estariam mal compactados. Pontos, desde que muito mal compactados deveriam ser recompactados, e se o DN estiver acima de 65mm/golpe, o material deverá ser substituído.

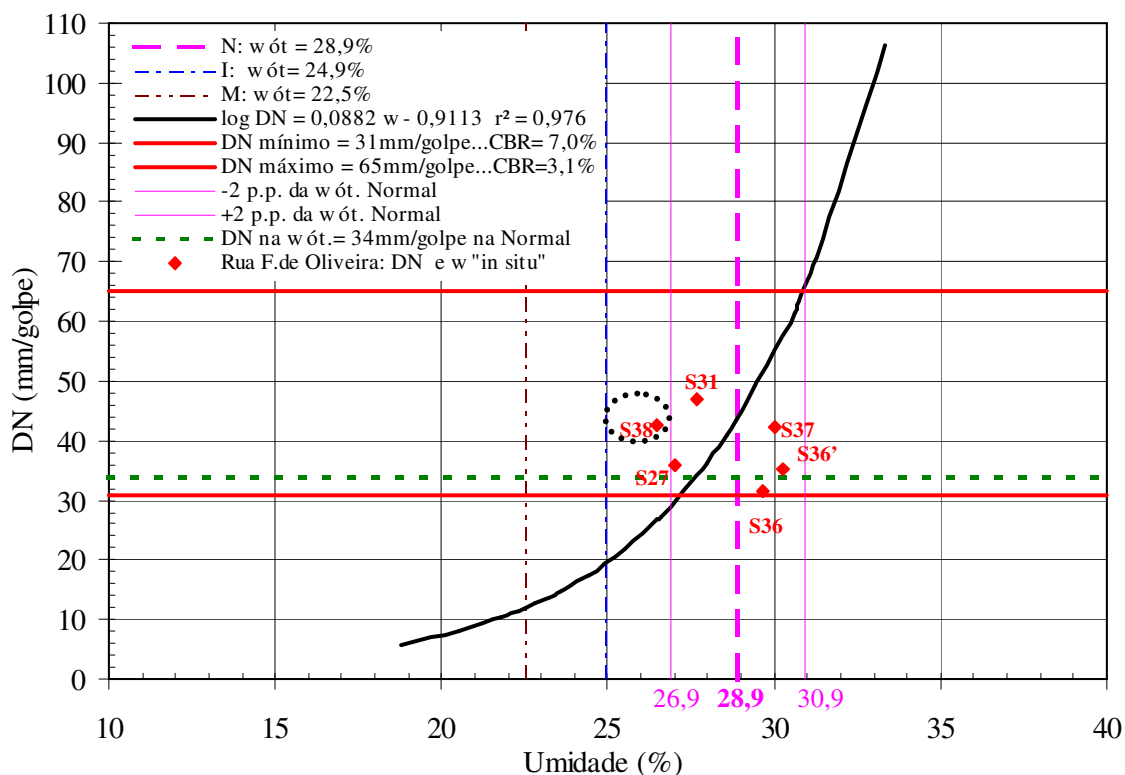


Figura 7.12: DN e umidade “in situ” de solo de fundação no trecho de 190m da rua Franklin de Oliveira.

Observa-se na Figura 7.12 que apenas um ponto da seção nº.38 encontrou-se fora do intervalo de umidade ótima. A tendência deste ponto ao entrar em equilíbrio é aumentar o DN de 42,7mm/golpe para um valor de, aproximadamente, 45mm/golpe. Este ponto, juntamente com a seção nº.31 estariam compactados com uma energia menor que a do Proctor Normal. Nestas duas seções, o solo de fundação deveria ser recompactado. Devido à profundidade que eles estão e o transtorno que isto daria ao ser recompactado ou substituído, pela existência de tubulações das concessionárias, optou-se por considerar um valor de DN maior, o que resultará em uma espessura levemente maior do pavimento.

No Quadro 7.4 são apresentados os valores de DN considerados para dimensionamento de espessura total do pavimento.

Quadro 7.4: Solo de Fundação, DN e umidade “in situ” para dimensionamento de Ht para a rua Franklin de Oliveira, horizonte B – grupo LG’.

Seção	DN (mm/golpe)	Umidade “in situ” (%)
38	45,0	26,90
37	42,3	30,02
36	31,4	29,68
36’	35,1	30,28
31	46,8	27,70
27	35,9	27,04

A Figura 7.13 ilustra os pontos DN e umidade referentes ao Quadro 7.4, notando-se o deslocamento do ponto da seção nº.38, ao entrar em equilíbrio.

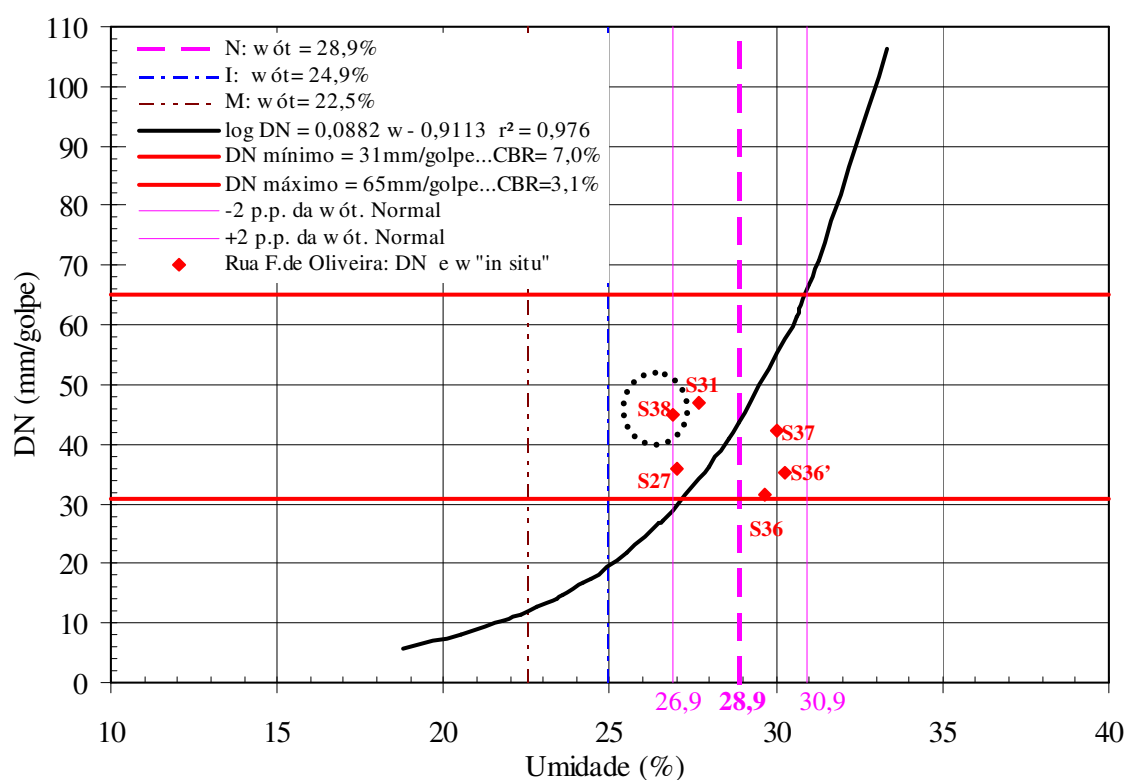


Figura 7.13: DN e umidade “in situ” das seções do trecho adotados no dimensionamento da espessura total do pavimento.

A estimativa do intervalo de confiança da média da população (μ) quando não se conhece o desvio padrão da população (σ) é dada pela equação 7.2:

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} \times \frac{Sd}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} \times \frac{Sd}{\sqrt{n}} \quad \text{equação 7.2}$$

$$\text{limite inferior} < \mu < \text{limite superior}$$

Onde:

μ : média da população;

\bar{x} : média da amostra;

Sd : desvio padrão da amostra;

n : tamanho da amostra;

t : distribuição t-student;

α : significância; e,

$p = 1 - \alpha$: probabilidade.

Na Tabela 7.1 são apresentados os parâmetros estatísticos para determinação do intervalo de estimativa da média da população.

Tabela 7.1: Parâmetros Estatísticos de DN

$\overline{DN} =$	39,4
<i>Desvio Padrão</i>	6,2
n	6
p	0,9
α	0,1
$\alpha/2$	0,05
$t_{\alpha/2 (n-1)}$	2,015

Portanto, para um nível de confiança de 90%, a estimativa do intervalo da média da população de DN é:

$$34,4\text{mm/golpe} < \mu < 44,5\text{mm/golpe}.$$

Assim, o valor de DN adotado para dimensionamento será o valor superior de 44,5mm/golpe.

Entrando-se com este DN no ábaco de dimensionamento da PMSP/92 (Figura 7.14) e DNER/79 (Figura 7.15) para $N_{ESP\ 8,2\ t} = 100.000$ e $DN = 44,5\text{mm/golpe}$, determina-se a espessura total de pavimento (Ht).

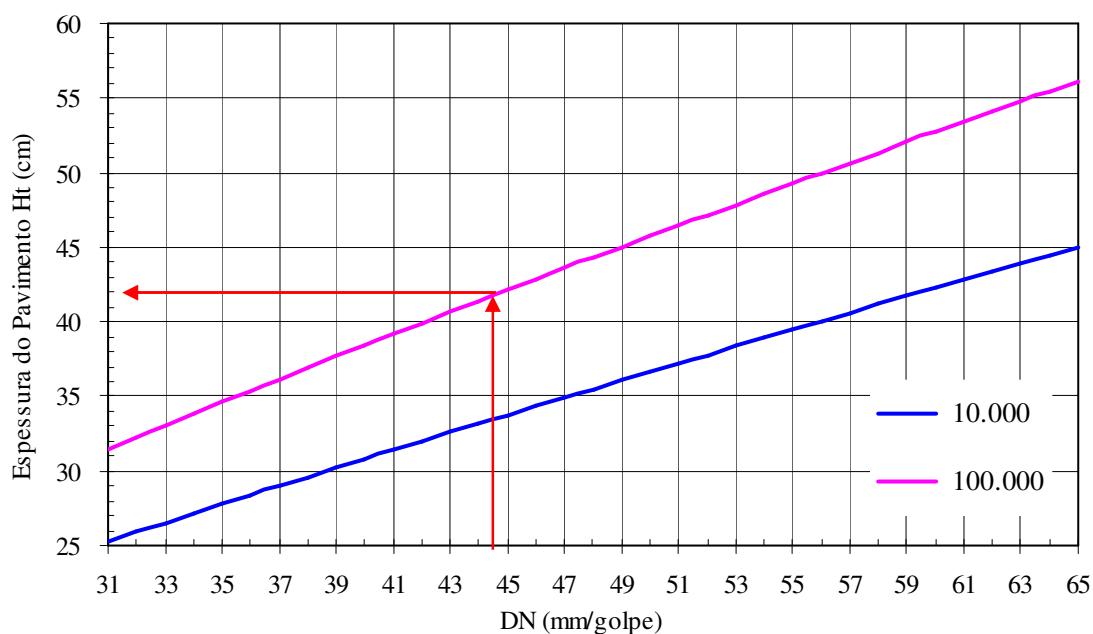


Figura 7.14: ÁBACO 5 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

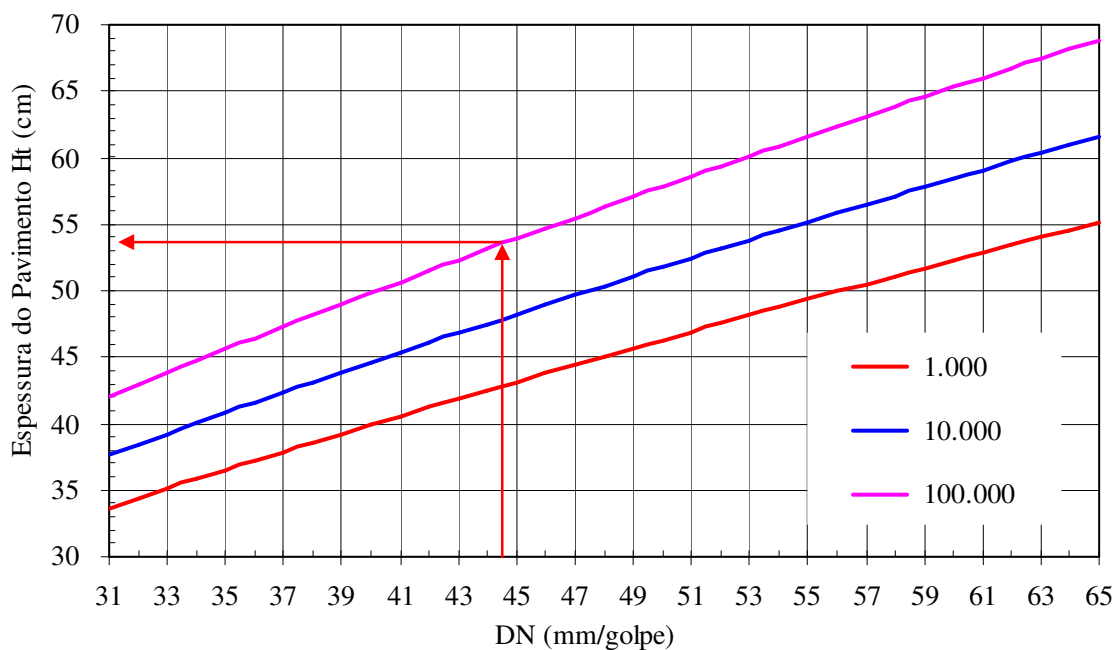


Figura 7.15: ÁBACO 6 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, DNER/79.

Assim, para o trecho de 190m da rua Franklin de Oliveira, definem-se nos ábacos os seguintes Hts para atender ao $N_{ESP\ 8,2\ t} = 100.000$ e proteger o subleito:

$$PMSP/92 : Ht \cong 42\text{cm}; \text{ e,}$$

$$DNER/79 : Ht \cong 54\text{cm}.$$

Durante a construção, após os serviços de regularização do leito e compactação, a camada final do corpo de aterro poderá ser reavaliada quanto ao DN e a espessura total do pavimento redimensionada. Tal procedimento poderá resultar em economia na pavimentação.

Por exemplo, se após os serviços de regularização do solo de fundação fosse obtida uma camada de pelo menos 15cm com um DN regularização = 31mm/golpe para atender ao $N_{ESP\ 8,2\ t} = 100.000$, definem-se nos ábacos:

$$PMSP/92 : Ht' \cong 31\text{cm}; \text{ e,}$$

$$DNER/79 : Ht' \cong 42\text{cm}.$$

Fazendo-se a verificação para proteger o subleito, tem-se:

$$Ht' + 15 \geq Ht$$

$$PMSP/92 : 31\text{cm} + 15\text{cm} \geq 42\text{cm}$$

$$46\text{cm} \geq 42\text{cm}; \text{ e,}$$

$$DNER/79 : 42\text{cm} + 15\text{cm} \geq 54\text{cm}$$

$$57\text{cm} \geq 54\text{cm}.$$

Portanto, a recompactação de pelo menos 15cm da camada final do corpo de aterro, representaria uma redução de 11cm na espessura total do pavimento segundo a metodologia da PMSP/92.

A Figura 7.16 ilustra o esquema de estrutura do pavimento com a camada de regularização compactada.

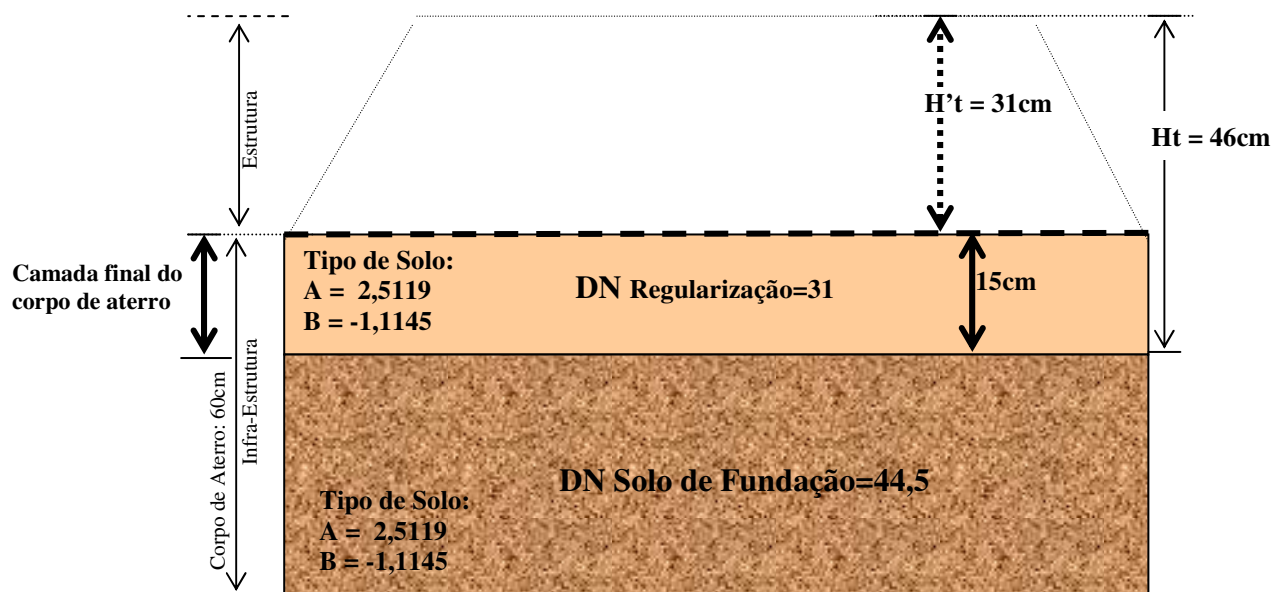


Figura 7.16: Esquema da estrutura do pavimento após compactação da camada final de aterro (PMSP/92).

Os materiais empregados nas estrutura do pavimento deverão atender as especificações vigentes.

CAPÍTULO VIII CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Método das Pastilhas e o ensaio DCP podem ser procedimentos técnicos viáveis às Prefeituras, pela sua simplicidade, rapidez de ensaio e baixo custo, possibilitando conhecer as propriedades fundamentais para o dimensionamento de pavimento, que são: resistência e expansão, bem como obter uma hierarquização dos solos do local quanto ao seus emprego.

8.1 MÉTODO DAS PASTILHAS

Com o objetivo de avaliar a expansão dos solos pelo Método das Pastilhas, em comparação com a expansão definida pelo procedimento tradicional, verificou-se:

- Para a Unidade Geotécnica Cambissolo substrato granitóides, com horizonte B e horizonte C bem intemperizados, tendo mais que 80% da fração passante na peneira 0,42mm, ou seja, pequena percentagem de fração grossa, houve uma correspondência entre a penetração do penetrômetro do Método das Pastilhas e a expansão obtida no ensaio tradicional;
- Para essa mesma Unidade Geotécnica, não houve correspondência da penetração pelo Método das Pastilha e a expansão pelo procedimento tradicional para o horizonte C, saprolítico. A fração empregada no ensaio das pastilhas, passante na #0,42mm, correspondeu a 29,45% da fração total da amostra, ou seja, o ensaio das pastilhas pode avaliar praticamente 30% da amostra, o qual apresentou características de solo expansivo. No entanto, pelo procedimento tradicional, não houve a constatação de expansão para este solo, ou seja, os 70% restantes da fração total da amostra pode ter contribuído na avaliação desta propriedade.

Foi percebido através dos Métodos das Pastilhas que o solo apresenta resposta diferenciada, mesmo em um único perfil de solo devido a evolução pedogenética.

No caso da Unidade Pedológica de Cambissolo (horizonte B-argiloso e horizonte C-siltoso) da Ilha de São Francisco do Sul, foi verificado em vários perfis de solo, que as pastilhas permitiram separar os solos de comportamento lateríticos dos solos de comportamento não-laterítico (solos saprolíticos).

Outra observação interessante, diz respeito aos solos arenosos da Ilha. As esferas imersas em água destilada não se desintegraram na maioria dos casos, o que significa uma coesão entre as partículas, dada pela mineralogia – ferro e alumínio. Esses solos foram identificados segundo a MCT como NA e por Godoy-Bernucci como Areias Lateríticas pelo Método das Pastilhas.

8.2 ENSAIO DE CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICO – DCP

Através dos parâmetros estatísticos de regressão múltipla e seus critérios, verificou-se que estando o solo compactado, existe uma relação significativa da resistência, seja DN ou CBR, com a umidade, não havendo contribuição do peso específico aparente seco no modelo. Portanto, é possível estimar o valor de DN em função da umidade, no intervalo de menos dois pontos percentuais abaixo da umidade ótima e ramo úmido do solo compactado.

O equipamento DCP apresenta vários pontos positivos quanto a sua aplicação no procedimento proposto. O DCP possibilita avaliar a resistência dos solos em campo, na condição natural ou compactada, sendo aplicado a solos finos sem presença de fragmentos de rocha que impeçam a penetração do cone de 20mm de diâmetro com 60° de abertura.

O procedimento de amostragem de solo com o tubo amostrador de Ø16mm adaptado ao equipamento DCP possibilitou além de coletar amostra para a umidade, identificar o tipo de solo no perfil até 1000mm, permitindo-se assim, empregar a relação CBR x DCP adequada para o solo identificado.

O DCP pode ser um equipamento empregado na avaliação da resistência, identificando sua variação ao longo do perfil, definindo as espessuras das diferentes camadas em função das resistências. Pode-se verificar nas vias com tráfego, que a curva DCP apresenta inclinações diferentes, (por exemplo, as seções nºs. 1, 2, 3 e 4 da rua Fabrício M. Moreira), caracterizando diferentes camadas com resistências distintas. Onde não há passagem de tráfego ou muito pouco (rua Rosa L. de Oliveira, seções nºs. 52, 53-8m, 53), a curva DCP apresentou o formato de uma única inclinação em toda a profundidade do perfil de solo. Isso mostra que é possível avaliar a compactação da camada de solo com o DCP, ou seja, no local onde a curva DCP apresentou a forma de reta, significa que a densidade é constante no perfil, e caso contrário, não há uma uniformidade da densidade.

Dos resultados de DN's obtidos no cilindro Grande e cilindro CBR, pode-se inferir que para solos mais argilosos as dimensões do molde não tem influência nos resultados de DN. Para solos com maior percentagem de fração areia, a realização do DCP no molde do CBR conduz a maiores valores de DN.

Há uma relação significativa entre a resistência CBR e DN no intervalo de dois pontos percentuais a baixo da umidade ótima (no ramo seco) e ramo úmido da curva de compactação com um grau de confiança acima de 99% e um coeficiente de determinação maior que 0,897, para os solos analisados na pesquisa.

Os ensaios executados para avaliar a repetibilidade de DN para solos argilosos e siltosos compactados apresentaram um coeficiente de variação abaixo de 9%. Isso indica um alto grau de confiança da eficiência do equipamento DCP na avaliação da resistência de solo compactados, sendo útil no controle tecnológico.

8.3 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Pode-se verificar uma diferença na determinação da espessura total do pavimento ao empregar o método da PMSP/92 e do DNER/79, na ordem de 10cm, ou seja, a metodologia da PMSP/92 conduz a uma estrutura mais esbelta.

Os ábacos de dimensionamento desenvolvidos permitiram de maneira rápida, determinar espessura total do pavimento para as diferentes unidades geotécnicas estudadas, levando-se em consideração a resistência à penetração “in situ” do solo de fundação e o tráfego. Durante a pavimentação é possível avaliar o DN da camada final do corpo de aterro após os serviços de regularização e assim, se necessário, redimensionar o estrutura do pavimento rapidamente.

8.4 RECOMENDAÇÕES

O Método das Pastilhas é um procedimento expedito, simples, rápido, que mostra as várias propriedades de interesse nos estudos geotécnicos de pavimentação e, pode-se classificar os diferentes tipos de solos segundo o desenvolvimento pedológico (lateríticos, trancisionais e não lateríticos) de acordo com as propriedades mecânicas e hidráulicas. O ensaio é um método eficaz na identificação dos solos tropicais, verificação de suas propriedades e seleção de jazidas, mas é

preciso ter um banco maior de dados com outros tipos de solo e buscar uma concordância entre os procedimentos MCT e Godoy-Bernucci.

Durante os ensaios de DCP em campo foram verificados detalhes quanto ao equipamento:

- A peça que une a haste de 25mm e 16mm, de preferência deve ser confeccionada junto com a haste de 25mm para suportar os golpes do martelo de 8kg;
- O martelo de 8kg deve ser colocado pelo lado do apoio das mãos (punho). O apoio das mãos deve ter seção maior que 25mm, pois este é utilizado no contra golpe do peso, durante a retirada do DCP após cravação. Em solos mais finos como os argilosos, a retirada da haste de 16mm cravada a uma profundidade de aproximadamente um metro e que tenham uma certa resistência (umidade e densificação), é extremamente difícil, pois requer muitos contra golpes com uma energia elevada;
- É interessante colocar um dispositivo no solo para a régua não ter mobilidade, principalmente quando a via apresenta relevo ondulado. Na pesquisa, foi criado um dispositivo para evitar essa mobilidade, deixando a régua na vertical e sem movimento lateral;
- A haste de 16mm, por ser rosqueada, apresenta dificuldade de ser retirada após realização do ensaio, pois os golpes afetam as roscas. Deve-se ter em mãos, sempre 2 chaves de pressão, um pequeno torno (morça), óleo. Esse problema de rosca, acontece também com o apoio das mãos que recebe os contra golpes; e,
- É necessário ter peças extras de cone, pois o cone pode quebrar durante a retirada da haste do solo, danificar a sua ponta durante a cravação (bater em rochas e/ou tubulações de concreto/PVC), sendo necessário substituir. Também, deve-se trocar o cone que houver $\pm 10\%$ de redução da seção. Na pesquisa foram utilizados cones de aço inox.

Aplicar a metodologia desenvolvida em outras Prefeituras para se ajustar o procedimento de dimensionamento empregando-se o Método das Pastilha e o DCP.

Desenvolver um kit básico incluindo manual dos equipamentos para que as prefeituras possam aplicar técnicas simples de engenharia na elaboração e execução de seus projetos de pavimentação urbana.

CAPÍTULO IX REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALVES, A.B.C. **Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.171p.

ALVES, A.B.C. e TRICHÊS, G. **Metodologia de Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone.** Anais do III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Geosul'2002. Joinville/SC, 2002. p.203-209.

ASTM D 2487-69 (reapproved 1975): **Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes.** American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, Soil and Rock. Disponível: na Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Catarina.

ASTM D 3282-73 (reapproved 1978): **Standard Recommend Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.** American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Soil and Rock. Disponível: na Biblioteca Central da Universidade Federal de Santa Catarina.

AMINI, F. **Potential Applications of Dynamic and Static Cone Penetrometers in MDOT Pavement Design and Construction.** Final Report-Jackson State University. Jackson, Mississippi, 2003. Disponível em:<<http://www.mdot.state.ms.us/research/pdf/DynConPn.pdf>>. Acesso em: 10 mar.2004.

ANGELONE, S., TOSTICARELLI, J. e MARTINEZ, F. **El Penetrometro Dinamico, Su Aplicacion al Control y Diseño Estructural de Pavimentos.** 6º CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DEL ASFALTO. T3-13, 1991.

CARDOSO, A.B. e TRICHÊS, G. **Avaliação da Capacidade de Suporte e Subleito de Rodovias Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG. Vol.1. Brasília, 1998. p.649-656.

CHUA, K.M. **Determination of CBR and Elastic Modulus do Soils using a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer.** Proccedings, Ist. Int. Symp. On Penetration Testing. ISOPT 1. Orlando, USA, Oct. 1987. p.407-413.

DIAS J.R., M.S., MIRANDA, E. E. V. **Comportamento da Curva de Compactação de Cinco Solos da Região de Lavras (MG).** Ciência Agrotécnica-Lavras. C.24. n.2. p.337-346. abr./jun.,2000. Disponível em: http://www.editora.ufla.br/revista/24_2/art03.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2005

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. DNER/1979. Rio de Janeiro/R.J, 1979.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – **Especificação de Serviço – ES 282/97 – Terraplenagem – aterros**. Rio de Janeiro/R.J, 1997.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1999. Disponível em:<<http://www.cnps.embrapa.br/search/novids/oqvai8.html>>. Acesso em: 15 abr. 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 1.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

LEVINE, D.M., BERENSON, M.L. e STAPHAN, D. **Estatística: Teoria e Aplicações – Usando Microsof[®] Excel em Português**. Rio de Janeiro: Editora LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000. p.329-578.

FERNANDES, E. **Uso de Sistema de Informações Geográficas – SIG – na Integração de Mapas Temáticos no Município de São Francisco do Sul – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

FONTES, L.P.T. **Contribuição à Investigação Geotécnica de Vias Urbanas Não Pavimentadas através do Emprego do Penetrômetro Dinâmico de Cone**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001. 185p.

FORTES, R.M, ZUPPOLINI NETO, A. e MERIGHI, J.V. **Proposta de Normalização do Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais**. 11^a Reunião Anual de Pavimentação. ABPV. Porto Alegre/R.S. 2002a. Disponível em: <http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/publicacoes.htm>. Acesso em: 17 jul. 2004.

FORTES, M.R, MERIGHI, J.V. e ZUPPOLINI NETO, A. **Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais**. 2º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, Portugal, 18 a 22/novembro,2002b. Disponível em: <http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/publicacoes.htm>. Acesso em: 17 jul. 2004.

FORTES, R.M. 2. **Classificação de Solos**. Disponível em:<http://www.meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estrada2/2classificação_de_solos.pdf>. Acesso em: 15/05/2004

FORTES, M.R; MERIGHI, J.V. **The Use of MCT Methodology for Rapid Classification of Tropical Soils in Brazil**. International Journal of Pavements. IJP 2003. vol.2. nº. 3. September, 2003.

GODOY, H. **Identificação e Classificação Geotécnica de Latossolos do Estado de São Paulo pelo Método das Pastilhas MCT**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 1997. 132p.

GODOY, H., NOGAMI, J.S., BERNUCCI, L.B e MOURA, E. **Uso de Mapas Pedológicos e do Método das Pastilhas MCT para o Aproveitamento de Solos Lateríticos em Obras Viárias**. 11º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. XI COBRAMSEG. ABMS, Brasília/D.F, 1998. vol.1. p.95-100.

GODOY, H. e BERNUCCI, L.L.B. **Desenvolvimento de procedimento Visual-Tátil para o Reconhecimento Geotécnico de Campo dos Solos das Bacias Hidrográficas do Aguapeí e Peixe no Estado da São Paulo**. Relatório Científico Final nº 3-FAPESP. São Paulo, 16 nov. 2000. Material disponível com o primeiro autor.

GODOY, H. e BERNUCCI, L.L.B. **O Método das Pastilhas na Compreensão das Propriedades Básicas dos Solos : Um Recurso Didático**. Anais do 16 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Natal/RN, 2002.

GODOY, H. e BERNUCCI, L.L.B. **Caracterização de Propriedades Geotécnicas de Solos Realizada no Próprio Campo e de Maneira Expedita**. Anais da 32ª Reunião Anual de Pavimentação. Brasília/DF, 2000.

HARISON, J.A. **Correlation of CBR and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils**. Australian Road Research, 16(2). June, 1986. p.130-136.

HASIM, M.S.B. e KASIM, Z.A.B.M.: **Quick In Situ-CBR for Road Engineering from DCP / In Situ Relationship Developed in Malaysia**. 1987

HYEN, A. **Aplicações do Penetrômetro Dinâmico de Ponta de Cone na Avaliação Estrutural de Pavimentos**. Anais da 21ª Reunião de Pavimentação. Salvador, 1986.

KARUNAPREMA, K.A.K e EDIRISINGHE, A.G.H.J. **A Laboratory Study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer**. EJGE, 2002. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2002/Ppr0228/Ppr0228.htm>>. Acesso em: 17 jan.2004.

LIVNEH, M. **The use of dynamic cone penetrometer in determining the strength of existing pavements and subgrades**. 9TH Southeast Asian Geotechnical Conference. Bangkok-Thailand, 7-11, 1987.

MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. **Estudo e Projeto de Pavimentação**. Vol. II. Fascículo 2. ABPv, 1995.

McELVANEY, J. e DJATNIKA, I.B. **Strength Evaluation of Lime-Stabilised Pavement Foundations Using the Dynamic Cone Penetrometer**. Australian Road Research, 21 (1), March 1991.

MEDINA, J., MOTTA, L. **Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego**. 1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. I SINBATRA, ABPV. Rio de Janeiro, 1997. p.190-199.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 188p.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. e BERNUCCI, L.L.B. **Comparações entre os Métodos Tradicionais e a MCT no Estudo Geotécnico de Solos Tropicais para Pavimentação**. 31ª Reunião Anual de Pavimentação. São Paulo/SP, 1998. p.722-740.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. **Modificações Recentes na Classificação Goetécnica MCT**. Anais da 34ª RAP. Reunião Anual de Pavimentação. Campinas/S.P, 2003.

OLIVEIRA, J.B., JACOMINE, P.K.T. e CAMARGO, M.N. **Classes Gerais de Solos do Brasil – Guia Auxiliar para seu Reconhecimento**. Jaboticabal, FUNEP. 1992

OLIVEIRA, L.E. e VERTAMATTI, E. **Utilização do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) na Avaliação Estrutural de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego**. Anais da 31ª RAP. Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo/S.P. Out. 1998.

OVERBY, C. **A Comparison between Benkelman Beam, DCP, and Clegg-Hammer Measurements for Pavement Strength Evaluation**. International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields. June 23-25. 1982. Trondheim, Norway. 1982.

PONCE H., GUZMÁN Z., Luis e GUZMÁN Z., Elias. **Utilizacion del Penetrometro de Cono Dinamico Portatil em la Caracterizacion y Evaluacion de los Suelos em al Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles de Caminos de Transito Medio y Bajo**. 6º CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DEL ASFALTO. T3-14, 1991.

PINTO, S. e PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária – Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Pavimentação Urbana: Procedimento de Dimensionamento de Pavimentos para Vias de Tráfego Leve e Muito Leve**. São Paulo, 1992.

PROCEDIMENTO DE IDENTIFICAÇÃO EXPEDITA DE SOLOS. Fornecido à Glaci Trevisan por Helder de Godoy, em visita à Universidade Federal de Santa Catarina em 2000.

PRUDÊNCIO Jr., L.R. **Métodos Estatísticos**. Universidade Federal de Santa Catarina, Núcleo de Pesquisa em Construção, Curso de Mestrado em Engenharia Civil, 1999.

PUNDEK, M. e MOLINARI, A. J.: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Resumo para as Condições de Santa Catarina**. Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2001.

SASKATCHEWAN HIGHWAYS AND TRANSPORTATION. **Standard Test Procedures Manual. Foundation Investigation – Dynamic Cone Penetrometer**. Canada, 1992. Disponível em: <http://www.highways.gov.sk.ca/docs/reports_manuals/STP_DOC/stp240_20.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2004.

SANTOS, G.T., DIAS, R.D., MAFRA Jr., C.S. e LEITE, F.C. **Importância dos Levantamentos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos nos Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias**. 33ª RAP-Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis/SC, 2001. p.728-740.

SMITH, R.B. e PRATT, D.N. **A Field Study of In Situ California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Testing for Road Subgrade Investigations**. Australian Road Research, 13(4). December, 1983.

SMITH, R.B. **Cone penetrometer and in situ testing of an active clay**. Penetration test 1988. Balkema-Rotterdam, 1988.

Saskatchewan Highways and Transportation – SHT. **Standard Test Procedures Manual**. STP 240-20, Foundation Investigation, Dynamic Cone Penetrometer. Disponível em:<http://www.highways.gov.sk.ca/docs/reports_manuals/manuals/STP_DOC/stp240-20.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2004.

TRANSPORT RESEARCH LABORATORY- TRL and DEPARTMENT FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT - DFID. Overseas Road Note 18 (ORN 18): **A Guide to the Pavement Evaluation and Maintenance of Bitumen-surfaced Roads in Tropical and Sub-tropical Countries**. Appendix F: TRL Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Test Procedure, U.K. United Kingdom (Inglaterra), 1999. p.56-60. Disponível em:<http://www.lpcb.org/lpcb-downloads/data_collection/1999_trl_orn_18.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2004.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora Mcgraw-Hill, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. 1914.

VERTAMATTI, E. e OLIVEIRA, L.E. **Análise de Pavimento de Baixo Volume de Tráfego Executado com Solos Transicionais**. 1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro/RJ. Out. 1997. p.325-344.

VERTAMATTI, E.; NETO, A.C.W. **Caracterização de Solos Plintíticos e seu uso em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego.** 1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro/RJ. Out. 1997. p.361-380.

ANEXOS

ANEXO A1 :

RESULTADO DO ENSAIO CONDUZIDO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS DO BAIRRO JARDIM ACARAI E MORRO DO UBATUBA.

ANEXO A1: RESULTADO DO ENSAIO CONDUZIDO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS DO BAIRRO JARDIM ACARAI E MORRO DO UBATUBA.

Nos Quadros A1.1 a A1.4 são apresentados os resultados conduzidos pelo Método das Pastilhas do bairro Jardim Acarai e da Jazida J1 do Morro do Ubatuba.

Quadro A1.1: Resultados – Método das Pastilhas pelo procedimento MCT do Jardim Acarai.

Item n°.	Amostra - Identificação Descritiva (Classificação Expedita)	Unid.Pd.	Contração e'	Penetração e'	Grupo MCT		Expansão	Tab.2.2 (%)
			mm	mm	Carta 1994	Carta 2003	Tab 2.1-Propried.	
1	Am. 50.1 horizonte B, cor marrom, textura Argilosa	Ca1	1,93	1,65	LG'	LG'	B	< 0,5
2	Am. 50.2 horizonte C, cor roxa, textura Siltosa	Ca1	0,95	6,23	NS' - NG'	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3
3	Am. 51: [0-40], cor vermelho, textura argilosa	Ca1	2,18	0,42	LG'	LG'	B	< 0,5
4	Am. 52.2 [15-65], cor marrom claro, text. Argilosa	Ca1	1,83	0,07	LG'	LG'	B	< 0,5
5	Am. 52.3 [65-85], cor marrom escuro, text. Argilosa	Ca1	1,60	0,09	LG'	LG'	B	< 0,5
6	Am. 54.1 [0-30], cor vermelho, text. Argilosa: SEM revest.primário	Ca1	2,18	0,45	LG'	LG'	B	< 0,5
7	Am. 54.2 [30 - 50], cor rosa, text. Argilosa	Ca1	2,09	0,87	LG'	LG'	B	< 0,5
8	Am. 54.3 [50], cor rosa mais claro, text. Argilosa	Ca1	2,01	0,74	LG'	LG'	B	< 0,5
9	Am. 55 [0-90], cor amarela, text. Argilosa	Ca1	2,15	0,09	LG'	LG'	B	< 0,5
10	Am. 56 cor marrom, text. Argilosa - corte de rua	Ca1	2,04	0,07	LG'	LG'	B	< 0,5
11	AM. 57.1 [15-50], cor preto, textura argilosa	Ca1	2,16	0,04	LG'	LG'	B	< 0,5
12	Am. 57.2 [50-80], cor preto mais claro, text. argilosa	Ca1	2,25	0,07	LG'	LG'	B	< 0,5
13	Am. 58.1, cor roxa, text. Siltosa, corte de rua a 60 cm	Ca1	0,99	5,98	NS' - NG'	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3
14	Am. 58.2 cor roxa, text.Siltosa, corte de rua a 150 cm	Ca1	1,03	6,03	NS' - NG'	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3
15	Am. 59 bordo de pista, superficial, cor marrom, text. argilosa	Ca1	2,13	0,06	LG'	LG'	B	< 0,5
16	Am. 60.1 Horizonte B (esp~2 m), Jazida 5, cor marrom, text. Argilosa	Ca1	2,11	0,68	LG'	LG'	B	< 0,5
17	Am. 60.2 horizonte C (esp~ 5 m), Jazida 5, cor roxo claro, text. Siltosa	Ca1	0,77	6,07	NS'/NA'	NS'/NA'	E / B	> 3 / < 0,5
18	Am. 61.1 horizonte B (esp~80), Jazida 5, cor marrom, text. Argilosa	Ca1	2,16	0,21	LG'	LG'	B	< 0,5
19	Am. 61.2 horizonte C (esp~2,5 m), Jazida 5, cor roxa, text. Siltosa	Ca1	1,15	6,18	NS' - NG'	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3

Quadro A1.2: Resultados – Método das Pastilhas pelo procedimento de **Bernicci-Godoy** do **Jardim Acarai**.

Item nº.	Amostra - Identificação Descritiva (Classificação Expedita)	Unid.Pd.	Contração %	Penetração (mm) CONE 10 G	Penetração (mm) CONE 30 G	Classe de Grupo	Expansão (%)
1	Am. 50.1 horizonte B, cor marrom, textura Argilosa	Ca1	9,47	1,08	2,21	LG'	4,91
2	Am. 50.2 horizonte C, cor roxa, textura Siltosa	Ca1	5,15	4,67	7,63	TA'	9,10
3	Am. 51: [0-40], cor vermelho, textura argilosa	Ca1	11,37	0,82	2,01	LG'	5,58
4	Am. 52.2 [15-65], cor marrom claro, text. Argilosa	Ca1	9,41	0,14	0,29	LG'	2,82
5	Am. 52.3 [65-85], cor marrom escuro, text. Argilosa	Ca1	7,98	0,12	0,12	LG'	2,11
6	Am. 54.1 [0-30], cor vermelho, text. Argilosa: SEM revest.primário	Ca1	11,02	0,25	0,90	LG'	3,30
7	Am. 54.2 [30 - 50], cor rosa, text. Argilosa	Ca1	9,97	0,41	1,26	LG'	3,83
8	Am. 54.3 [50], cor rosa mais claro, text. Argilosa	Ca1	9,94	0,73	1,72	LG'	4,10
9	Am. 55 [0-90], cor amarela, text. Argilosa	Ca1	10,50	0,13	0,14	LG'	2,88
10	Am. 56 cor marrom, text. Argilosa - corte de rua	Ca1	10,16	0,11	0,15	LG'	2,33
11	AM. 57.1 [15-50], cor preto, textura argilosa	Ca1	10,95	0,05	0,12	LG'	2,26
12	Am. 57.2 [50-80], cor preto mais claro, text. argilosa	Ca1	11,19	0,07	0,14	LG'	2,24
13	Am. 58.1, cor roxa, text. Siltosa, corte de rua a 60 cm	Ca1	5,24	4,75	8,07	TA'	7,97
14	Am. 58.2 cor roxa, text.Siltosa, corte de rua a 150 cm	Ca1	4,86	5,28	8,75	NA'	8,71
15	Am. 59 bordo de pista, superficial, cor marrom, text. argilosa	Ca1	10,32	0,14	0,13	LG'	2,89
16	Am. 60.1 Horizonte B (esp~2 m), Jazida 5, cor marrom, text. Argilosa	Ca1	10,63	0,65	1,72	LG'	5,08
17	Am. 60.2 horizonte C (esp~ 5 m), Jazida 5, cor roxo claro, text. Siltosa	Ca1	4,50	5,87	9,70	NA'	9,47
18	Am. 61.1 horizonte B (esp~80), Jazida 5, cor marrom, text. Argilosa	Ca1	11,05	0,10	0,32	LG'	3,41
19	Am. 61.2 horizonte C (esp~2,5 m), Jazida 5, cor roxa, text. Siltosa	Ca1	5,78	5,31	9,17	NA'	8,44

Quadro A1.2: Resultados – Método das Pastilhas pelo procedimento de **Bernicci-Godoy** do **Jardim Acarai**. (*continuação*).

Item n°.	Umidade de Moldagem (%)	Reabsorção água (%)	Índice de Reabsorção	Fissura	Inchamento	Tempo de Ascensão			Tempo de Reação	Estado	Resistência ao Esmagamento
1	60,86	45,21	-0,26	Ocorrência	SEM	0 14' 58"	a	0 22' 40"	0 3' 40"	Pasta (silte)	Esfera não quebra
2	49,85	51,42	0,03	Ausência	COM	0 08' 58"	a	0 09' 42"	0 2' 40"	Pasta (silte)	Esfera quebra entre dedo-dedo
3	69,38	50,00	-0,28	Ocorrência	SEM	0 15' 07"	a	0 18' 13"	0 2' 23"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
4	44,58	26,69	-0,40	1 ocor/2aus	SEM	0 08' 50"	a	0 10' 03"	0 4' 00"	Esfera Trinca e Não se altera (argilas)	Esfera não quebra
5	44,15	27,19	-0,38	Ausência	SEM	0 5' 25"	a	0 30' 42"	0 15' 22"	Esfera Trinca e Não se altera (argilas)	Esfera quebra entre dedo-mesa
6	55,93	35,90	-0,36	Ocorrência	SEM	0 41' 45"	a	1° 39' 59"	0 2' 40"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera quebra entre dedo-mesa
7	59,65	38,24	-0,36	Ocorrência	SEM	0 39' 17"	a	1° 34' 33"	0 4' 35"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera quebra entre dedo-mesa
8	58,76	40,58	-0,31	Ocorrência	SEM	0 58' 32"	a	1° 26' 34"	0 2' 25"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera quebra entre dedo-mesa
9	54,18	31,11	-0,43	Ausência	SEM	0 26' 56"	a	0 33' 50"	0 7' 20"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
10	48,14	27,33	-0,43	Ausência	SEM	0 38' 28"	a	0 40' 59"	0 7' 10"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
11	54,27	30,38	-0,44	Ausência	SEM	0 33' 15"	a	0 56' 40"	0 7' 10"	a esfera não desintegrou	Esfera não quebra
12	49,35	23,05	-0,53	Ausência	SEM	2° 00' 24"	a	2° 19' 42"	0 12' 15"	Esfera Trinca e Não se altera (argilas)	Esfera não quebra
13	49,70	52,15	0,05	Ausência	COM	0 10' 48"	a	0 14' 55"	0 5' 45"	Pasta (silte)	Esfera quebra entre dedo-dedo
14	54,72	58,63	0,07	ocor. C/ lupa	COM	0 10' 09"	a	0 22' 24"	0 5' 50"	Pasta (silte)	Esfera quebra entre dedo-dedo
15	51,99	28,81	-0,45	Ausência	SEM	0 45' 48"	a	0 57' 45"	0 10' 50"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
16	64,08	46,31	-0,28	Ocorrência	SEM	0 23' 20"	a	0 41' 25"	0 2' 35"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
17	49,39	51,89	0,05	Ocorrência	COM	0 08' 49"	a	0 24' 20"	0 3' 00"	Pasta (silte)	Esfera quebra entre dedo-dedo
18	57,45	32,53	-0,43	Ausência	SEM	0 27' 15"	a	0 36' 20"	0 4' 00"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
19	56,10	61,53	-0,43	Ocorrência	COM	0 09' 10"	a	0 13' 10"	0 3' 20"	Pasta (silte)	Esfera quebra entre dedo-dedo

Quadro A1.3: Resultados – Método das Pastilhas pelo procedimento MCT da Jazida J1-Morro do Ubatuba.

nº.	Amostra	Unid.Pd.	Contração c'	Penetração e'	Crupe MCT		Expansão		Coef.Permeabilidade (k)	Coef. Sorção (s)
			mm	mm	Carta 1994	Carta 2003	Tab.Propried.	Valor (%)	Tab.Propried.	Tab.Propried.
1	70	Ca3	0,77	6,83	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
2	71	Ca3	0,82	7,03	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
3	72	Ca3	0,67	6,57	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
4	73	Ca3	1,41	4,72	NG'	NG'	M,E	0,5 - 3 a > 3	B,M	M,E
5	74	Ca3	1,59	2,33	NG'	LG'	M,E	0,5 - 3 a > 3	B,M	M,E
6	75	Ca3	1,64	1,93	LG'	LG'	B	< 0,5	B	B
7	76	Ca3	0,77	6,75	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
8	77	Ca3	0,70	3,03	NA'-NS'	NA'-NS'	B-B,M	< 0,5 - 3 %	B-M	B,M
9	78	Ca3	0,58	6,43	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
10	79	Ca3	2,21	6,49	NG'	NG'	M,E	0,5 - 3 a > 3	B,M	M,E
11	80	Ca3	0,95	6,76	NS'-NG'	NG'-NS'	B,M-M,E	< 0,5 - 3 a > 3	M-B,M	B,M-M,E
12	81	Ca3	1,18	3,60	NA'/(NG'-NS')	NA'/NG',NS'	B/(M,E-B,M)	< 0,5 a > 3	B/(B,M-M)	B,M/(M,E-B,M)
13	82	Ca3	0,59	6,80	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
14	83	Ca3	0,67	6,89	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
15	84	Ca3	0,76	7,20	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
16	85	Ca3	0,63	6,77	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
17	86	Ca3	0,69	6,64	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
18	87	Ca3	1,97	7,20	NG'	NG'	M,E	0,5 - 3 a > 3	B,M	M,E
19	88	Ca3	0,77	6,78	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
20	89	Ca3	0,70	6,67	NS'/NA'	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %	M/B	B,M
21	90	Ca3	1,04	6,76	NS'-NG'	NG'-NS'	B,M-M,E	< 0,5 - 3 a > 3	M-B,M	B,M-M,E

Quadro A1.4: Resultados – Método das Pastilhas pelo procedimento de Godoy-Bernucci da Jazida J1-Morro do Ubatuba.

n.º	Amostra	Unid.Pd.	Contração %	Penetração (mm) CONE 10 G	Penetração (mm) CONE 30 G	Classe de Grupo	Expansão (%)	Umidade de Moldagem (%)	Reabsorção água (%)	Índice de Reabsorção
1	70	Ca3	4,35%	6,19	11,30	NÃO LATERÍTICO ARENOSO	9,90%	28,16%	40,58%	0,43
2	71	Ca3	4,32%	6,91	11,50	NÃO LATERÍTICO ARENOSO	10,32%	26,75%	39,67%	0,49
3	72	Ca3	3,60%	7,10	12,05	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO	10,00%	26,00%	38,64%	0,49
4	73	Ca3	7,20%	4,09	7,92	TRANSICIONAL ARGILOSO	11,92%	29,28%	39,56%	0,35
5	74	Ca3	8,15%	2,57	4,68	LATERÍTICO ARGILOSO	8,77%	29,57%	34,94%	0,17
6	75	Ca3	8,44%	2,59	4,82	LATERÍTICO ARGILOSO	10,54%	31,62%	38,62%	0,23
7	76	Ca3	4,47%	5,71	10,35	NÃO LATERÍTICO ARENOSO	9,39%	26,30%	38,32%	0,45
8	77	Ca3	3,61%	9,75	11,48	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO [Ireabs n.ok]	11,36%	35,45%	47,75%	0,34
9	78	Ca3	3,55%	7,83	11,69	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO [Ireabs n.ok]	10,34%	33,42%	42,26%	0,27
10	79	Ca3	10,34%	4,45	8,11	NÃO LATERÍTICO ARGILOSO a TRANSICIONAL ARGILOSO [Ireab n.ok]	8,82%	41,10%	51,72%	0,24
11	80	Ca3	4,70%	6,22	10,17	NÃO LATERÍTICO ARENOSO	11,72%	24,55%	40,01%	0,63
12	81	Ca3	5,89%	3,96	6,49	TRANSICIONAL ARENOSO	8,88%	28,25%	38,09%	0,34
13	82	Ca3	3,20%	7,26	11,67	NÃO LATERÍTICO SILTOSO -ARENOSO	9,79%	24,83%	35,82%	0,44
14	83	Ca3	3,29%	7,53	12,31	NÃO LATERÍTICO SILTOSO -ARENOSO	9,39%	25,80%	38,53%	0,49
15	84	Ca3	3,67%	11,00	11,50	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO [Ireabs n.ok]	13,25%	45,89%	55,04%	0,19
16	85	Ca3	3,75%	7,54	11,90	NÃO LATERÍTICO SILTOSO -ARENOSO [Ireab limite]	9,27%	30,93%	43,12%	0,38
17	86	Ca3	3,97%	8,22	11,52	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO [Ireabs n.ok]	10,27%	35,53%	47,42%	0,33
18	87	Ca3	10,66%	2,89	5,35	LATERÍTICO ARGILOSO	9,88%	53,51%	48,49%	-0,09
19	88	Ca3	3,71%	8,64	12,12	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO [Ireabs n.ok]	9,87%	41,67%	52,01%	0,25
20	89	Ca3	3,80%	6,71	11,04	NÃO LATERÍTICO SILTOSO-ARENOSO	11,93%	23,78%	36,70%	0,53
21	90	Ca3	5,63%	5,46	9,68	NÃO LATERÍTICO ARENOSO [Expansão no limite e Ireab n.ok]	7,97%	31,96%	42,90%	0,34

Quadro A1.4: Resultados – Método das Pastilhas pelo procedimento de **Godoy-Bernucci** da Jazida **J1-Morro do Ubatuba** (*continuação*).

Amostra	Fissura	Inchamento	Tempo de	de	Ascensão	Tempo de	Estado da Esfera	Resistência ao
						Reação		Esmagamento
70	Fissuras quase imperceptíveis	com inchamento	0° 21' 10"	a	0° 24' 30"	0° 06' 00"	Pasta (siltes)	Esfera não quebra
71	Fissuras finíssimas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 10' 58"	a	0° 13' 57"	0° 06' 58"	Pasta (siltes)	Esfera não quebra
72	ausência de Fissuras visíveis a olho nú	com inchamento	0° 9' 17"	a	0° 9' 23"	0° 5' 21"	Pasta (siltes)	Esfera não quebra
73	Muitas trincas, bem visíveis a olho nú.	com inchamento	0° 28' 14"	a	0° 31' 22"	0° 20' 03"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
74	Muitas trincas, visíveis a olho nú.	com inchamento leve	1° 27' 12"	a	1° 56' 45"	0° 18' 42"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
75	Muitas trincas, visíveis a olho nú.	com inchamento	1° 09' 04"	a	1° 42' 41"	0° 22' 18"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
76	Fissuras pequeníssimas	com inchamento	0° 10' 00"	a	0° 14' 44"	0° 08' 16"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
77	Fissuras visíveis a olho nú	com inchamento	0° 03' 34"	a	0° 03' 48"	0° 04' 54"	Pasta (siltes)	Esfera quebra entre dedo-mesa
78	Ausência de trincas	sem inchamento	0° 10' 12"	a	0° 11' 14"	0° 06' 54"	Pasta (siltes)	Esfera quebra entre dedo-mesa
79	Trincas visíveis a olho nú.	com inchamento	0° 19' 19"	a	0° 26' 12"	0° 09' 39"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
80	Fissuras finas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 17' 37"	a	0° 19' 51"	0° 17' 20"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
81	Fissuras finas visíveis a olho nu	com inchamento	0° 37' 31"	a	0° 45' 53"	0° 17' 21"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
82	Fissuras mto finas, pouco visível a olho nú	com inchamento	0° 11' 27"	a	1° 10' 36"	0° 06' 24"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
83	Fissuras finas visível com lupa	com inchamento	0° 09' 16"	a	0° 09' 31"	0° 06' 46"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
84	ausência de trincas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 03' 46"	a	0° 04' 28"	0° 05' 38"	Pasta (siltes)	Esfera quebra entre dedo-mesa
85	Fissuras super finas visível a olho nú	com inchamento leve	0° 07' 22"	a	0° 08' 30"	0° 02' 50"	Pasta (siltes)	Esfera quebra entre dedo-mesa
86	Fissuras finíssimas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 09' 13"	a	0° 23' 55"	0° 07' 15"	Pasta (siltes)	Esfera quebra entre dedo-mesa
87	Presença de certo trincamento	com inchamento	0° 26' 27"	a	0° 34' 55"	0° 10' 59"	Blocos de alguns mm de lado	Esfera não quebra
88	Fissuras finíssimas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 03' 15"	a	0° 05' 04"	0° 05' 49"	Pasta (siltes)	Esfera quebra entre dedo-dedo
89	Fissuras finíssimas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 17' 10"	a	0° 18' 41"	0° 12' 01"	Partículas (areias)	Esfera não quebra
90	Fissuras finíssimas visíveis a olho nú	com inchamento	0° 12' 01"	a	0° 19' 34"	0° 04' 50"	Pasta (siltes)	Esfera não quebra

ANEXO A2 :

CURVA DCP

E

DIAGRAMA DE UMIDADE

ANEXO A2 : CURVA DCP E DIAGRAMA DE UMIDADE

No Quadro A2.1 são apresentadas 50 seções investigadas, indicando a amostra, o tipo de solo, coordenadas geográficas UTM e local.

Quadro A2.1: Seções investigadas no bairro Jardim Acarai – São Francisco do Sul

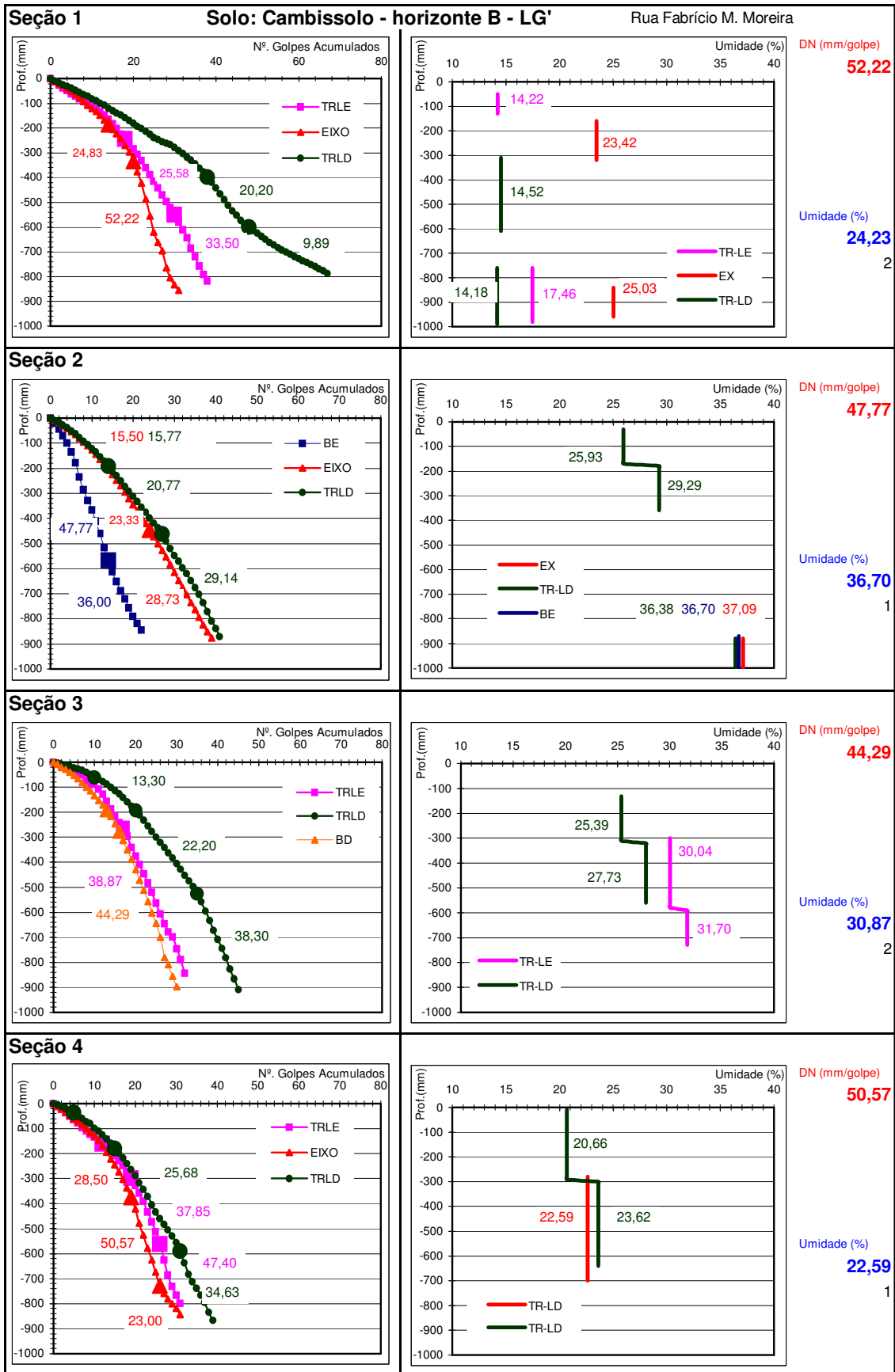
Seção	Amostra:Solo	Coordenadas Geográficas UTM	Local
01	1: LG'	22 J 737 038 7094 615	Fabício Maia Moreira
02	1: LG'	22 J 737 013 7094 575	Fabício Maia Moreira, 165
03	1: LG'	22 J 736 995 7094 528	Fabício Maia Moreira, 272
04	1: LG'	22 J 737 015 7094 495	Fabício Maia Moreira, 354
05	-	22 J 736 951 7094 443	Fabício Maia Moreira, Bomba Samae
06	-	22 J 736 920 7094 407	Fabício Maia Moreira, 162
11	1: LG'	22 J 737 031 7094 258	Vicente Souza de Oliveira, 227
12	1: LG'	22 J 737 087 7094 238	Vicente Souza de Oliveira, 379
13	1: LG'	22 J 737 123 7094 216	Vicente Souza de Oliveira, 415
14	1: LG'	22 J 737 168 7094 190	Vicente Souza de Oliveira, 493
15	2: NS'/NG'	22 J 737 210 7094 166	Vicente Souza de Oliveira, 526
15'	2: NS'/NG'	22 J 737 210 7094 166	Vicente Souza de Oliveira, 500
16	2: NS'/NG'	22 J 737 229 7094 151	Vicente Souza de Oliveira, 340
17	1: LG'	22 J 737 186 7094 134	Ailton da Silva
18	1: LG'	22 J 737 200 7094 147	Ailton da Silva, 500
19	2: NS'/NG'	22 J 737 210 7094 180	Ailton da Silva, Poste
20	2: NS'/NG'	22 J 737 226 7094 203	Ailton da Silva, Esquina
21	2: NS'/NG'	22 J 737 247 7094 200	Ângelo Brehn
22	2: NS'/NG'	22 J 737 222 7094 207	Ângelo Brehn, Esquina
23	1: LG'	22 J 737 200 7094 220	Ângelo Brehn, 499
24	1: LG'	22 J 737 165 7094 249	Ângelo Brehn, 465
25	1: LG'	22 J 737 160 7094 219	Rua 107, 463
26	1: LG'	22 J 737 121 7094 268	Ângelo Brehn, 323
27	1: LG'	22 J 737 069 7094 300	Ângelo Brehn, Esquina
28	1: LG'	22 J 737 033 7094 328	Ângelo Brehn, 285
29	1: LG'	22 J 736 990 7094 344	Ângelo Brehn, 249
30	1: LG'	22 J 737 955 7094 363	Ângelo Brehn, 213
31	1: LG'	22 J 737 084 7094 330	Franklin de Oliveira

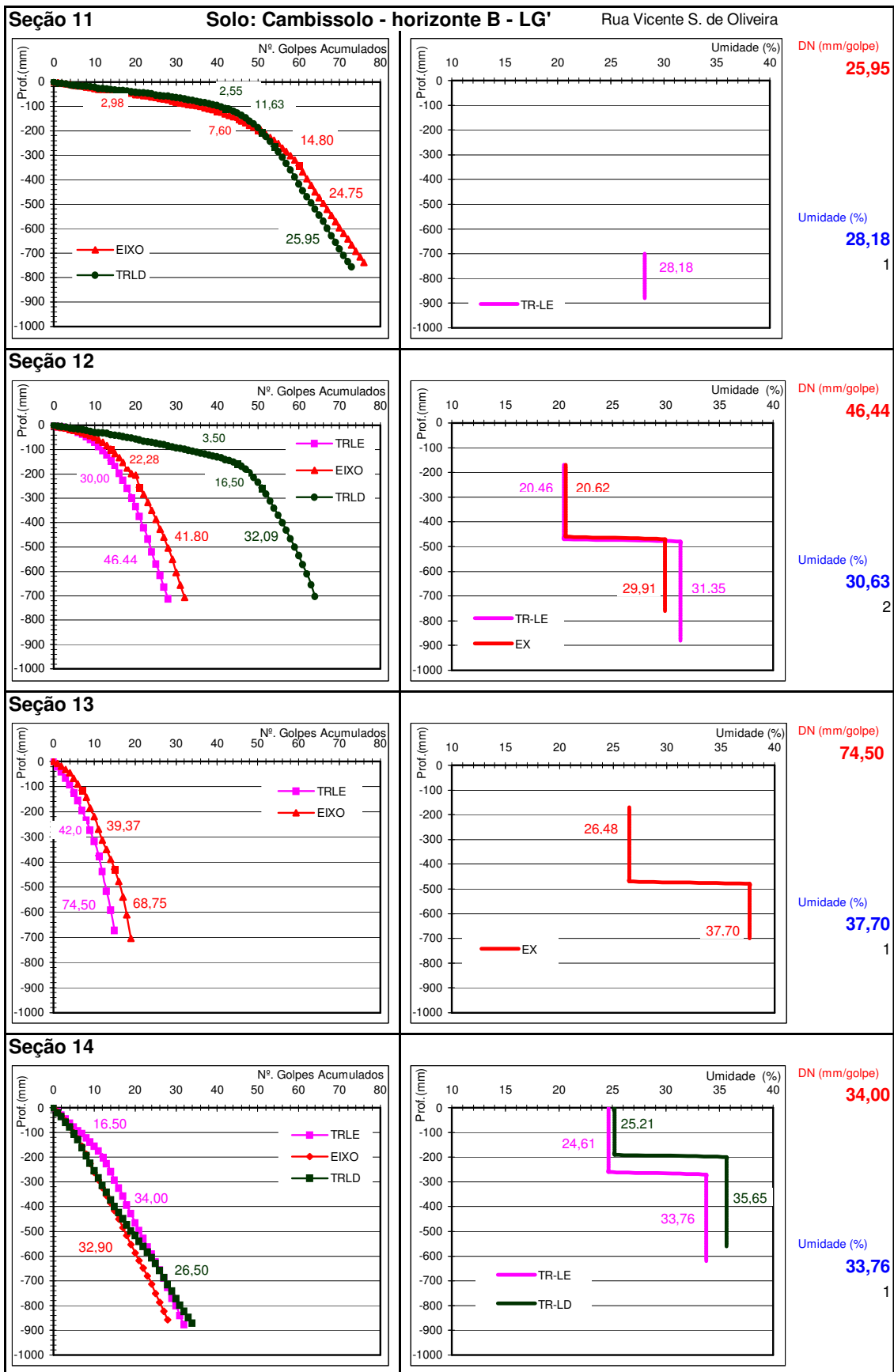
Quadro A2.1: Seções investigadas no bairro Jardim Acarai – São Francisco do Sul.(continuação).

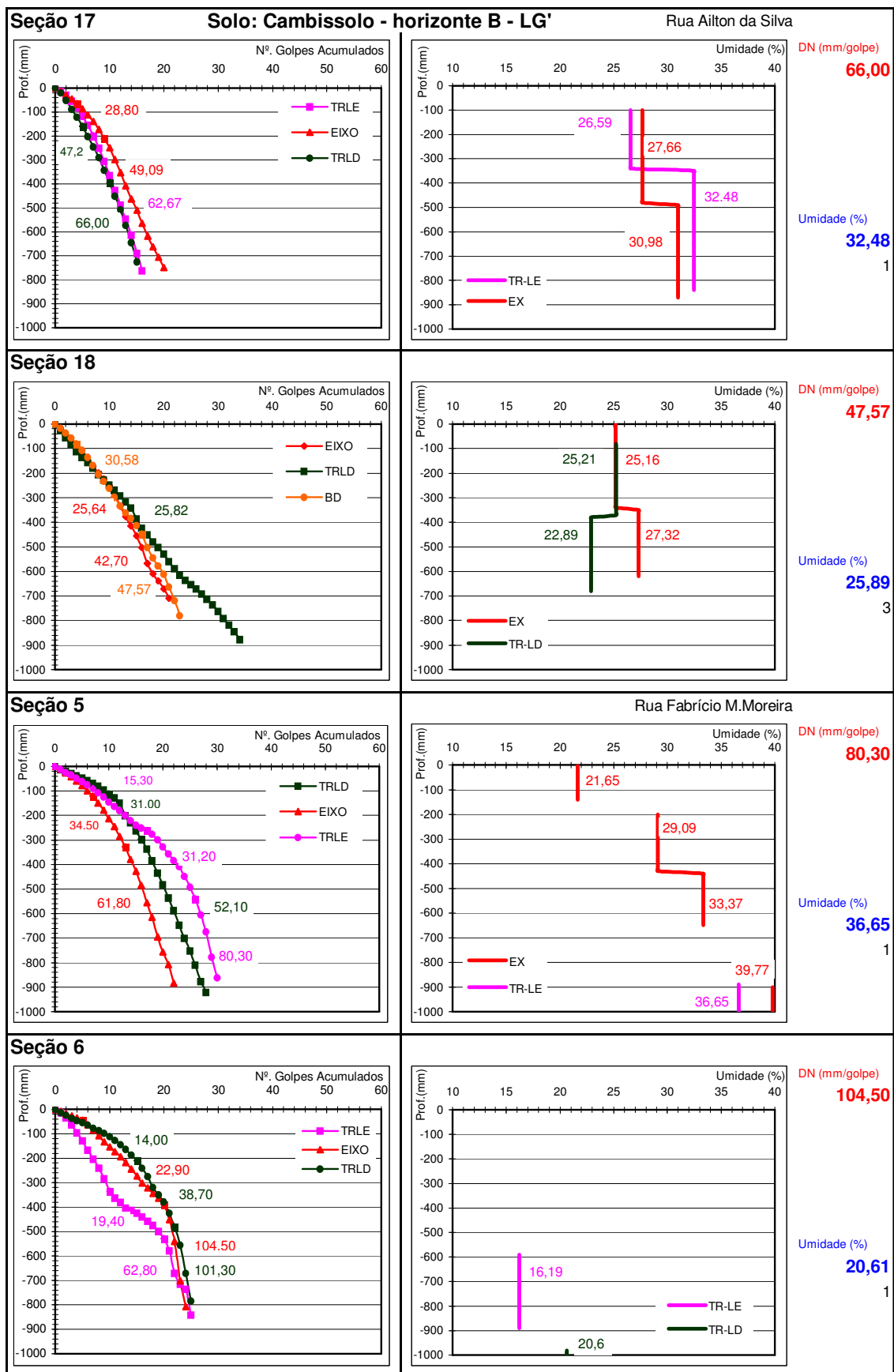
Seção	Amostra: Solo	Coordenadas Geográficas UTM	Local
32	1: LG'	22 J 737 081 7094 372	Rosa L. de Oliveira
33	1: LG'	22 J 737 042 7094 391	Rosa L. de Oliveira, 281
34	1: LG'	22 J 737 000 7094 418	Rosa L. de Oliveira, 216
35	1: LG'	22 J 736 955 7094 434	Rosa L. de Oliveira, Bomba Samae
36	1: LG'	22 J 737 102 7094 351	Franklin de Oliveira
36'	1: LG'	22 J 737 101 7094 352	Franklin de Oliveira
37	1: LG'	22 J 737 133 7094 406	Franklin de Oliveira
38	1: LG'	22 J 737 150 7094 440	Franklin de Oliveira
39	1: LG'	22 J 737 127 7094 412	Ruth N. Martines
40	1: LG'	22 J 737 101 7094 430	Ruth N. Martines
41	1: LG'	22 J 737 087 7094 439	Ruth N. Martines
42	1: LG'	22 J 737 035 7094 460	Ruth N. Martines, 234
43	1: LG'	22 J 736 998 7094 488	Ruth N. Martines, 272
44	1: LG'	22 J 737 133 7094 475	Verde Teto
45	1: LG'	22 J 737 087 7094 503	Verde Teto, 223
46	1: LG'	22 J 737 047 7094 530	Verde Teto, 195
47	1: LG'	22 J 737 011 7094 549	Verde Teto, Poste
49	1: LG'	22 J 737 218 7094 556	Franklin de Oliveira, 785
50	1: LG'	22 J 737 7094	Franklin de Oliveira, Igreja
52	1: LG'	22 J 737 118 7094 337	Rosa L. de Oliveira
53-8m	1: LG'	22 J 737 115 7094 333	Rosa L. de Oliveira
53	1: LG'	22 J 737 153 7094 314	Rosa L. de Oliveira
54	1: LG'	22 J 737 153 7094 314	Rosa L. de Oliveira

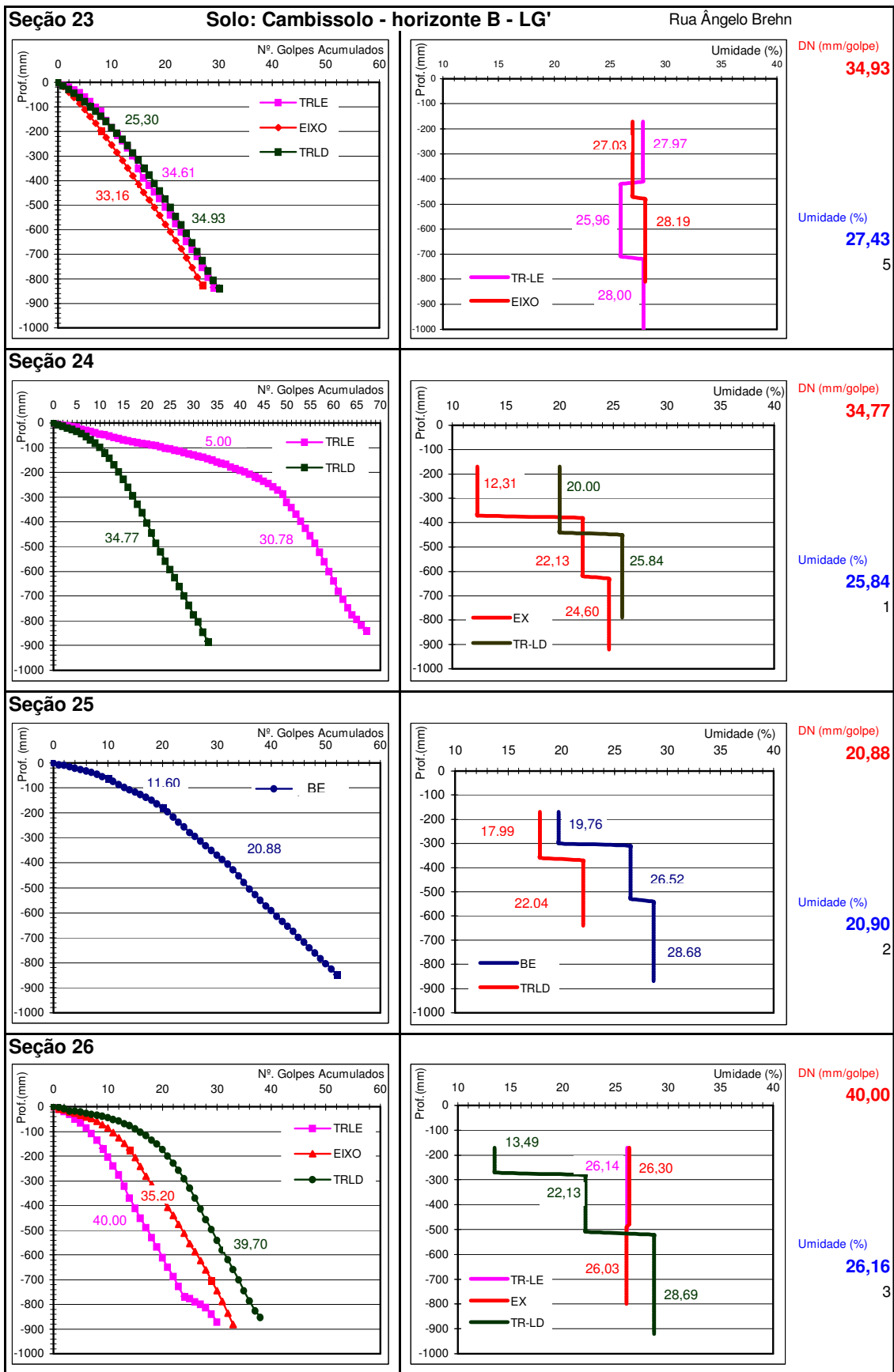
Na sequência, são apresentadas as curvas DCP e diagramas de umidade das seções investigadas do bairro Jardim Acarai, horizontes B e C.

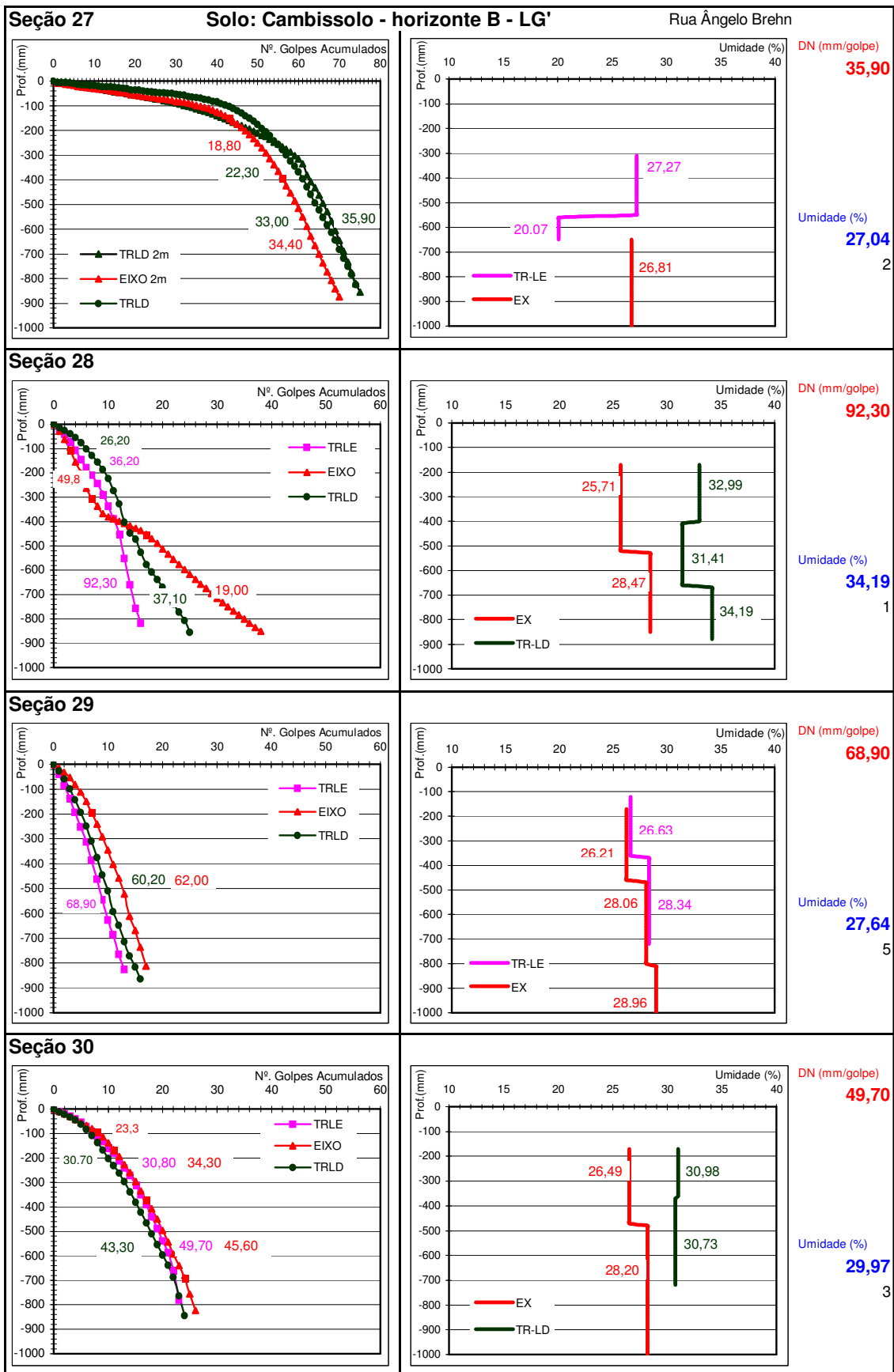
Ao lado do diagrama de umidade, é indicado para a seção investigada, o valor de DN do solo fundação e a umidade. Abaixo da umidade é indicado um número 1, 2, ou outro valor, que significam que para aquela seção foi adotada um valor individual (1) de umidade ou a média (2 e 3) das umidades.

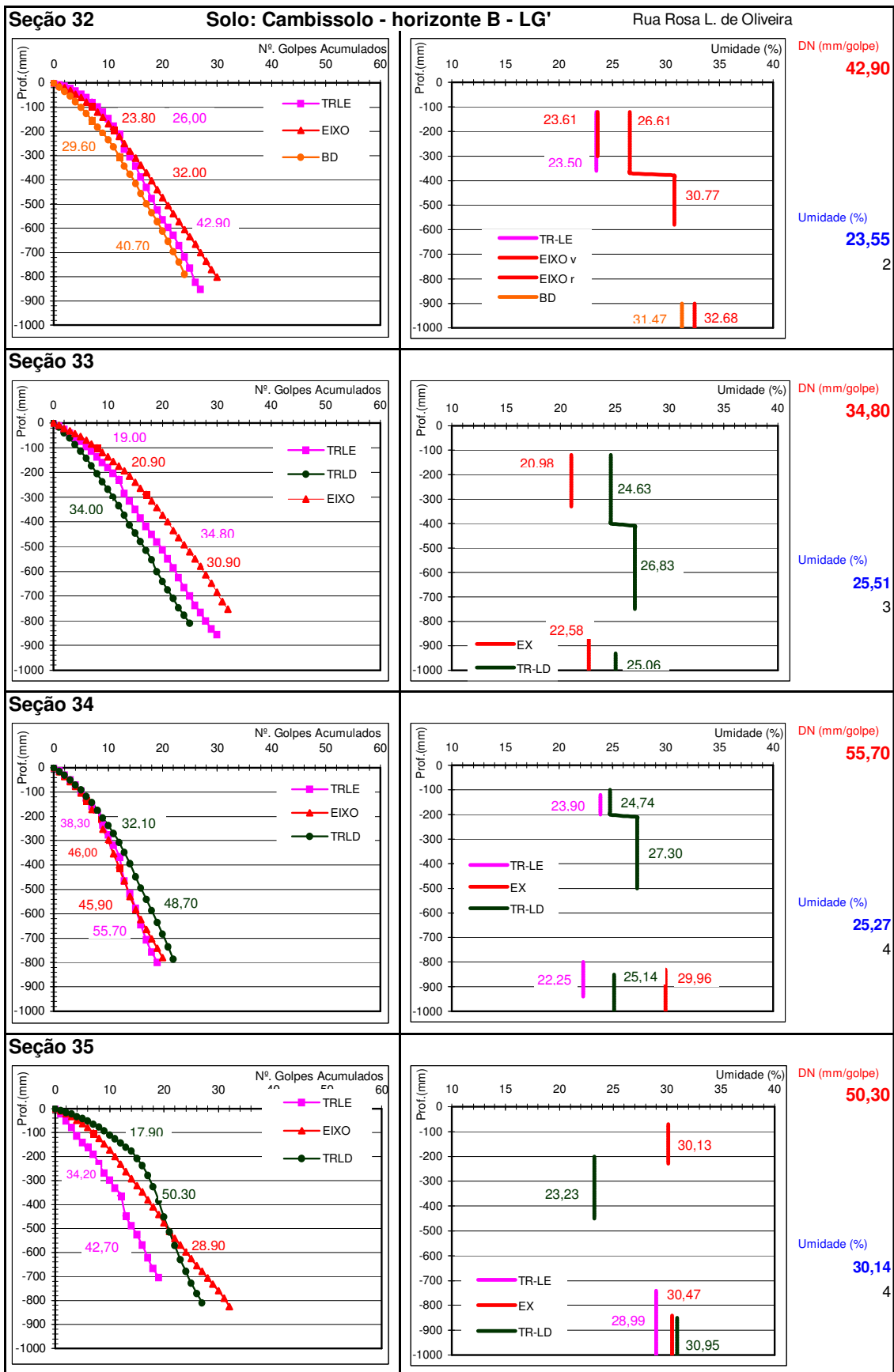


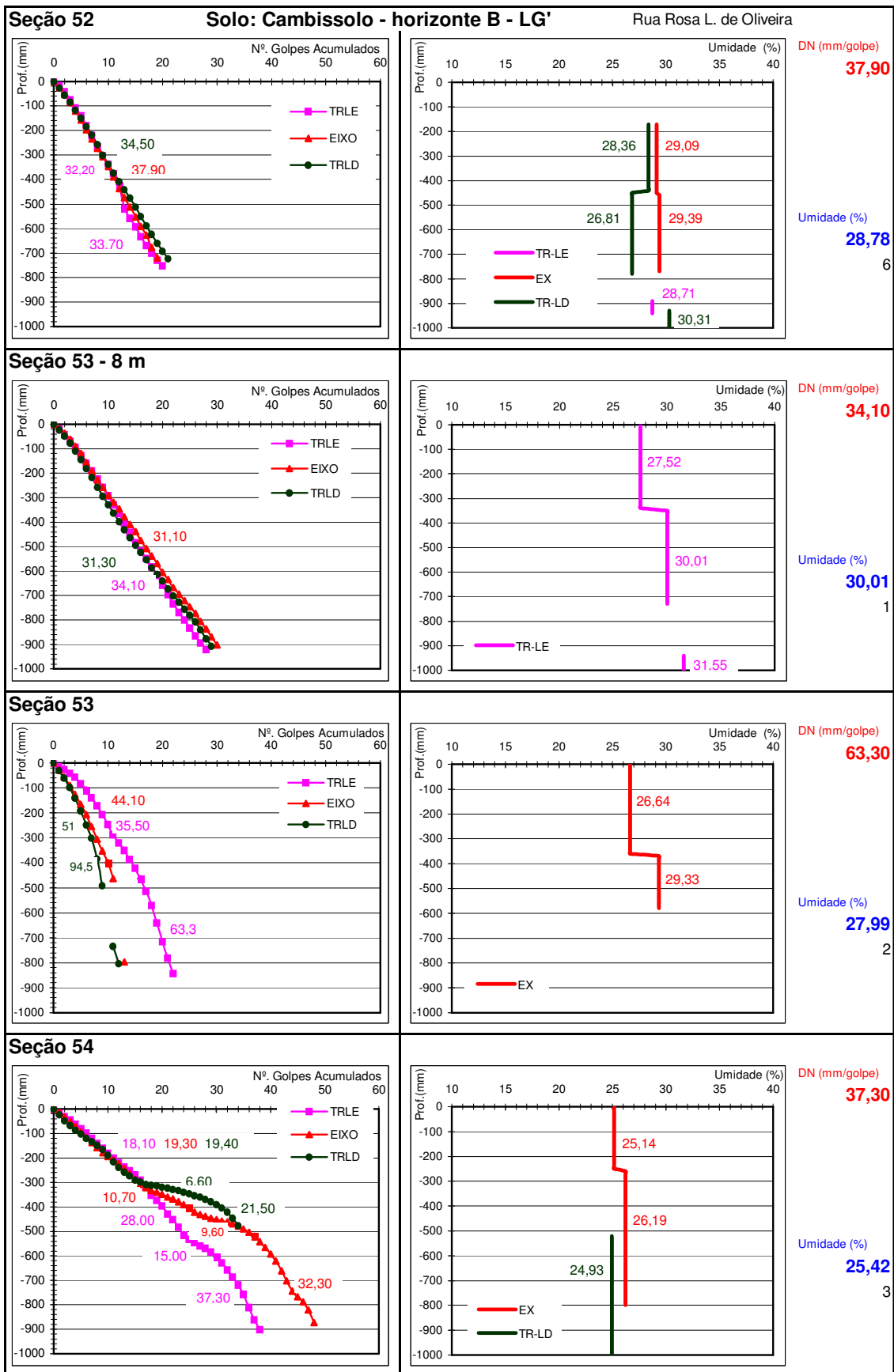


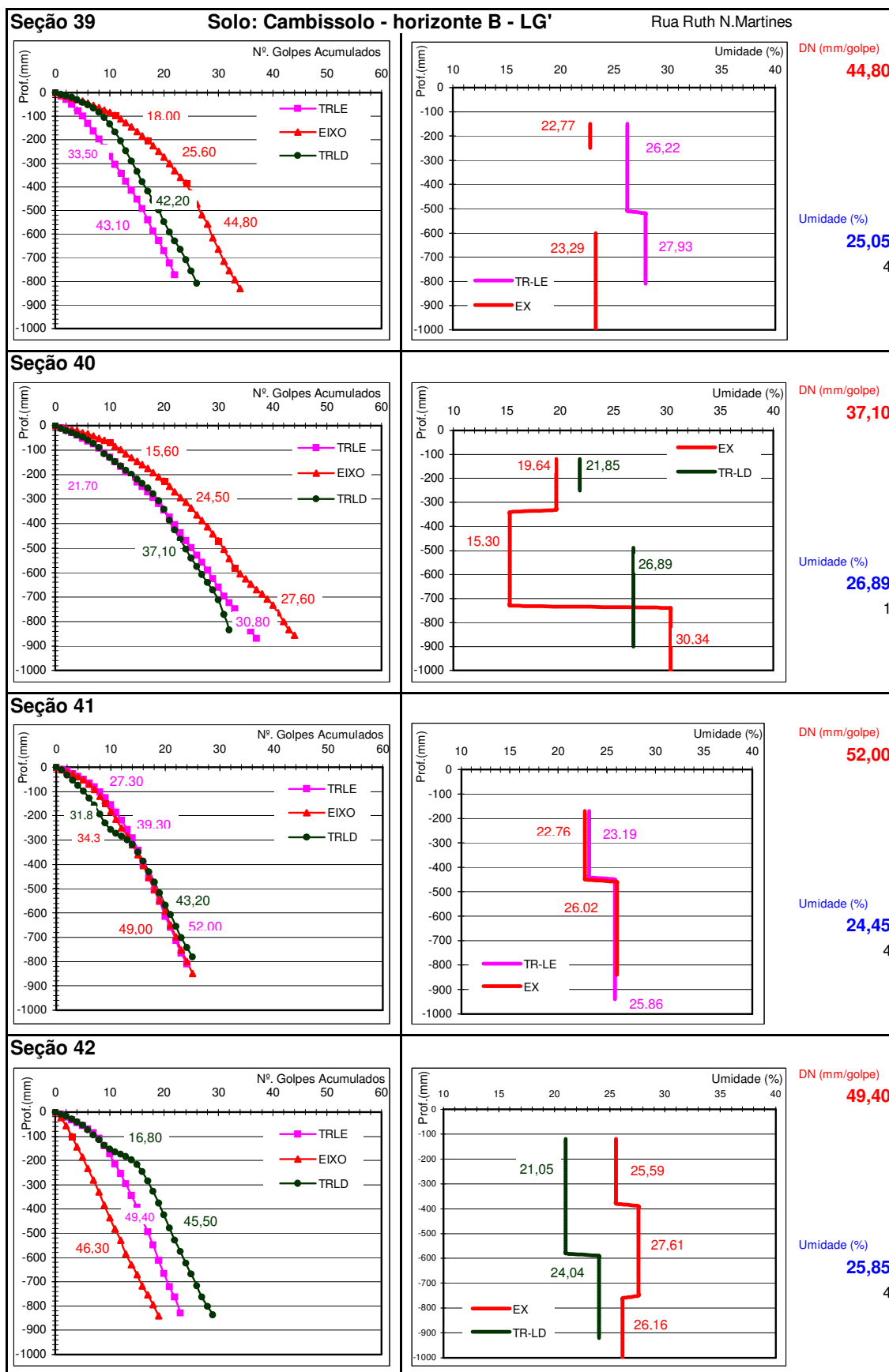


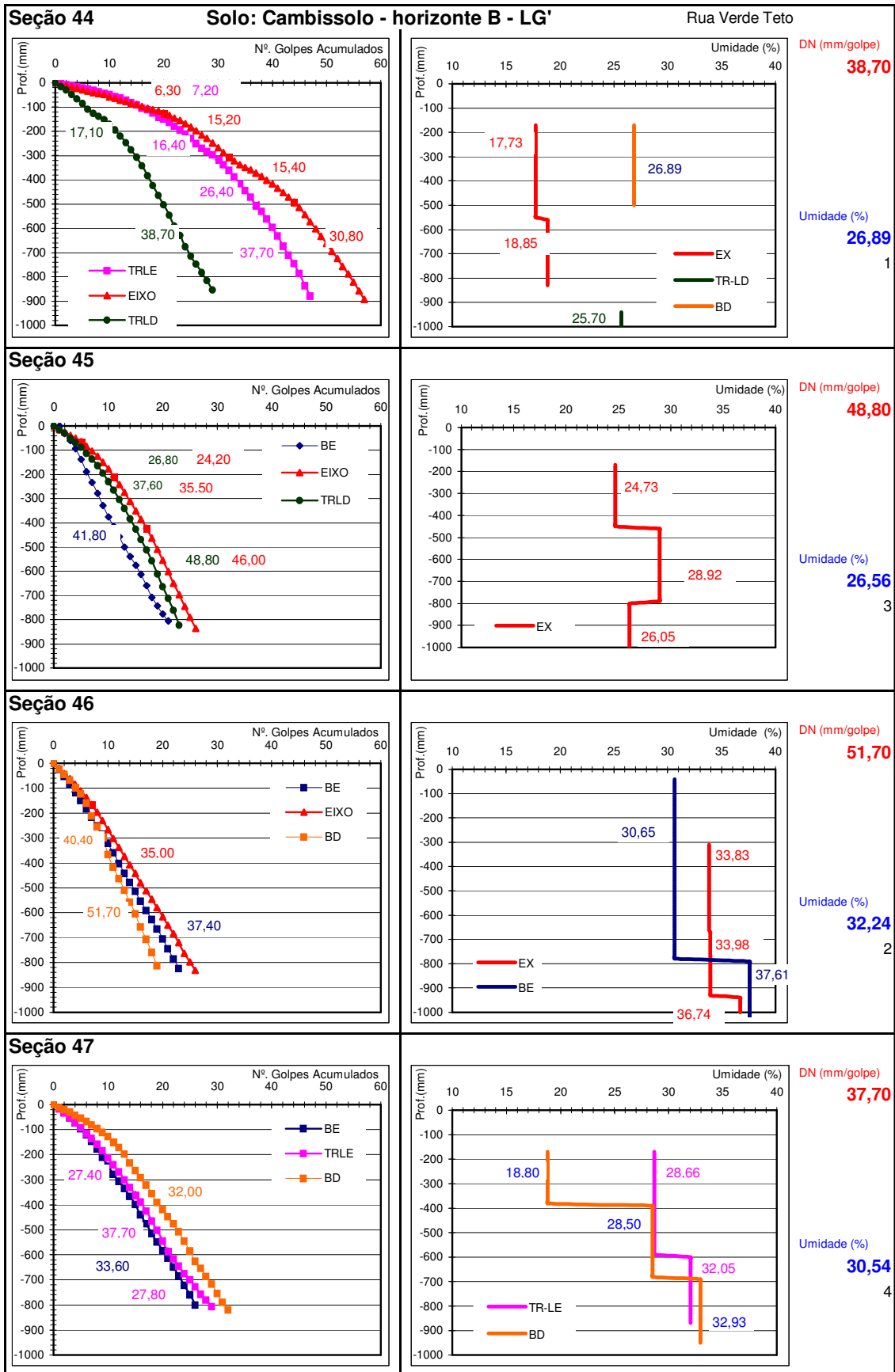


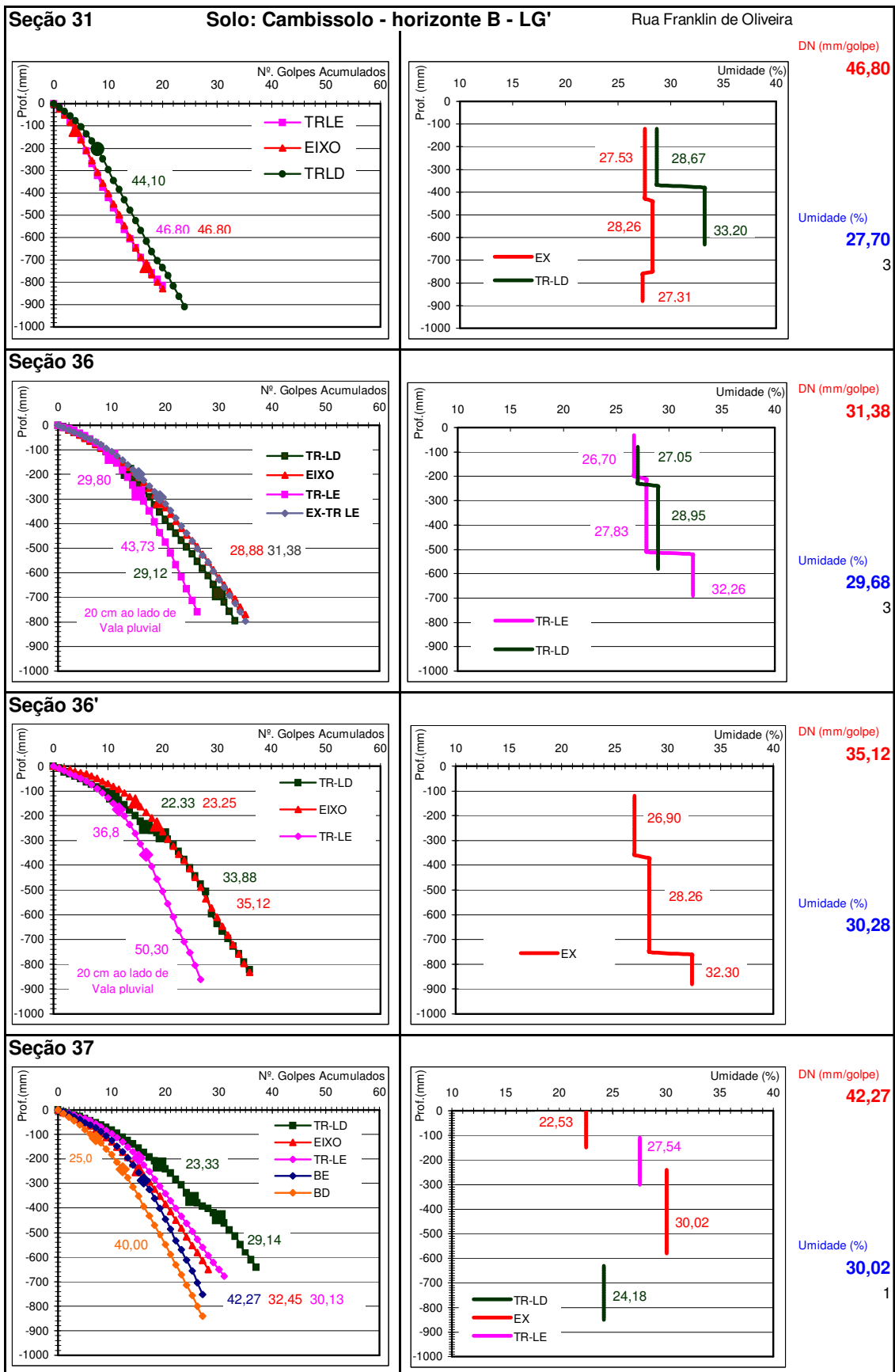


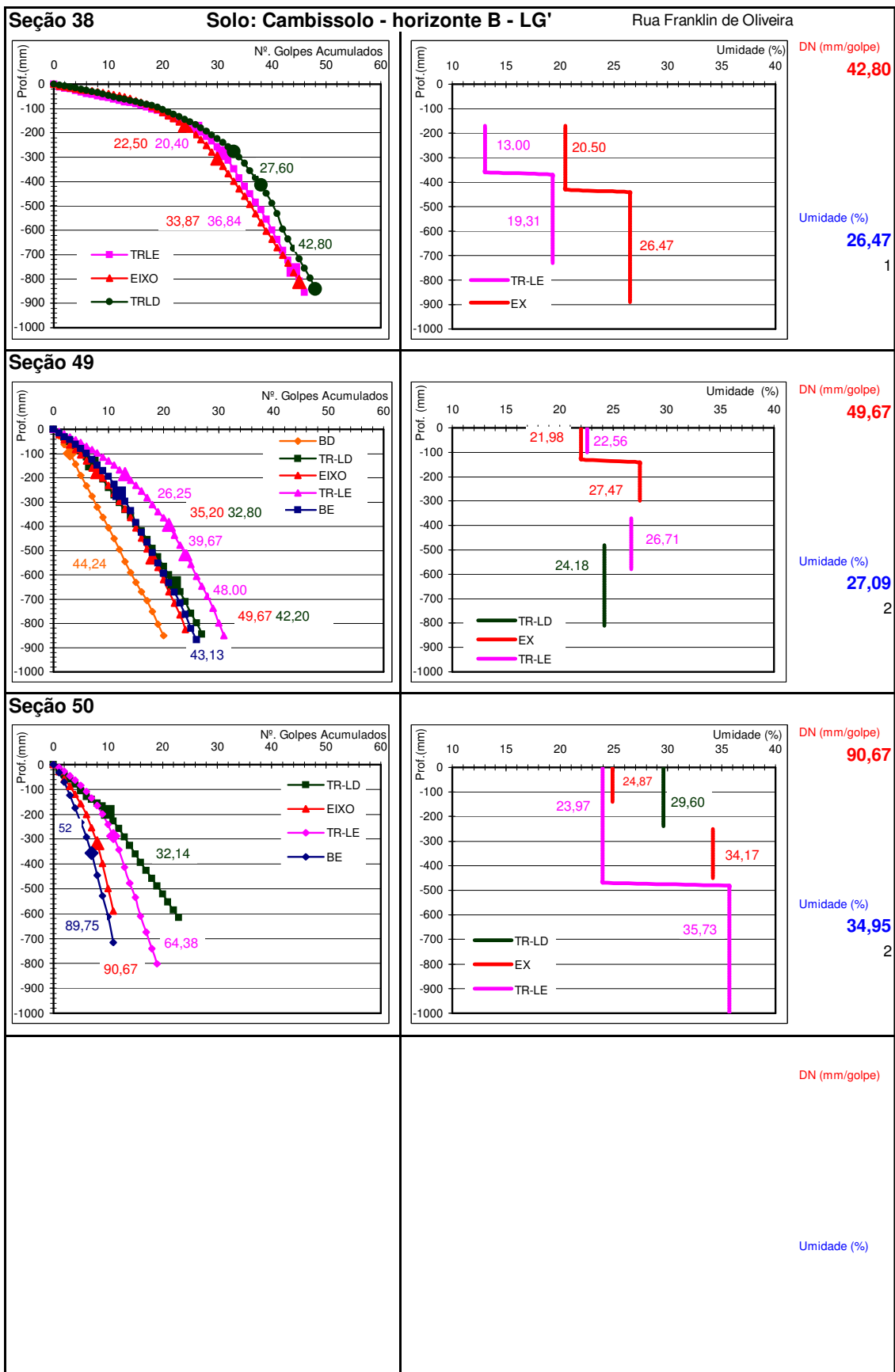


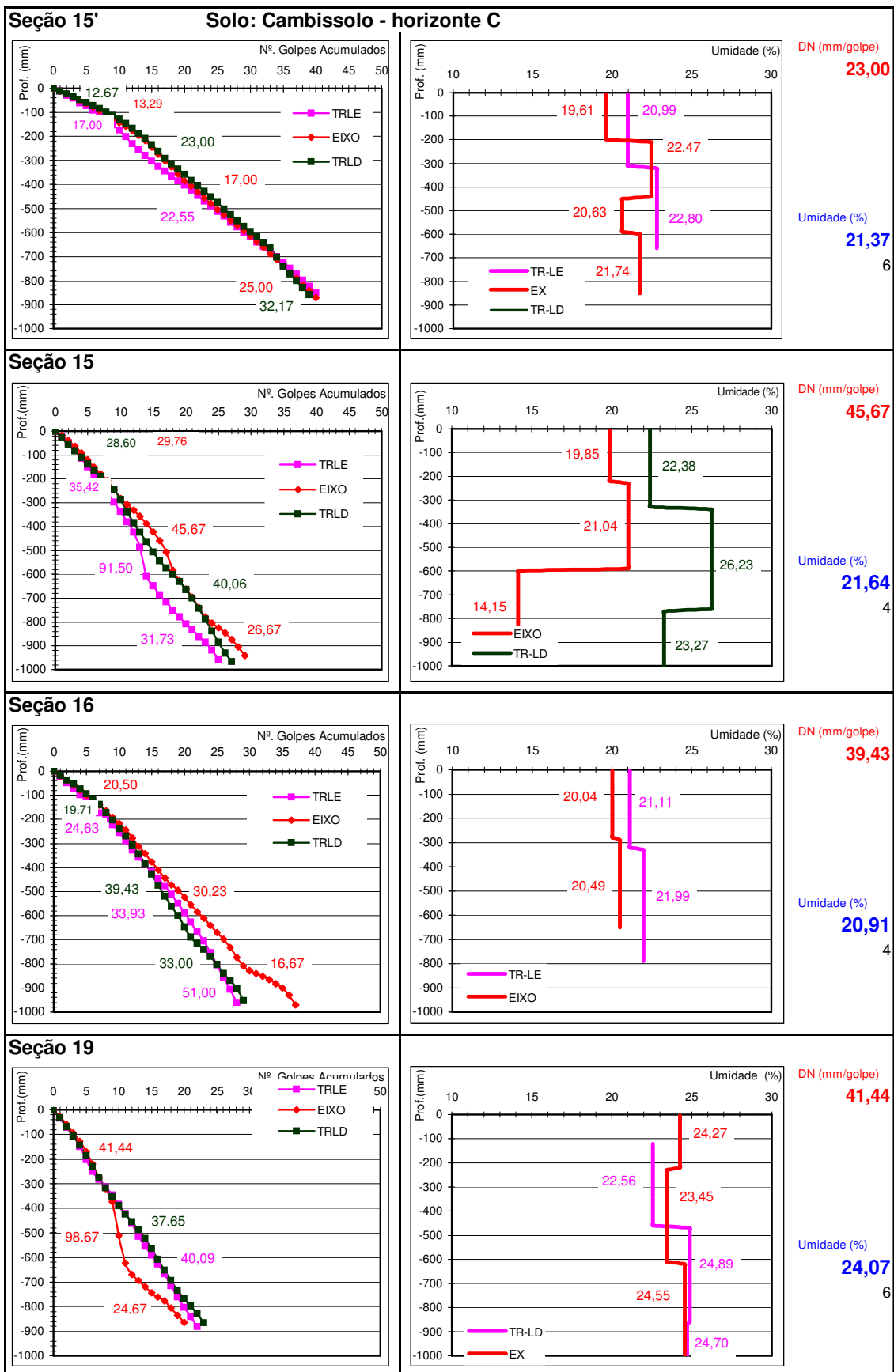


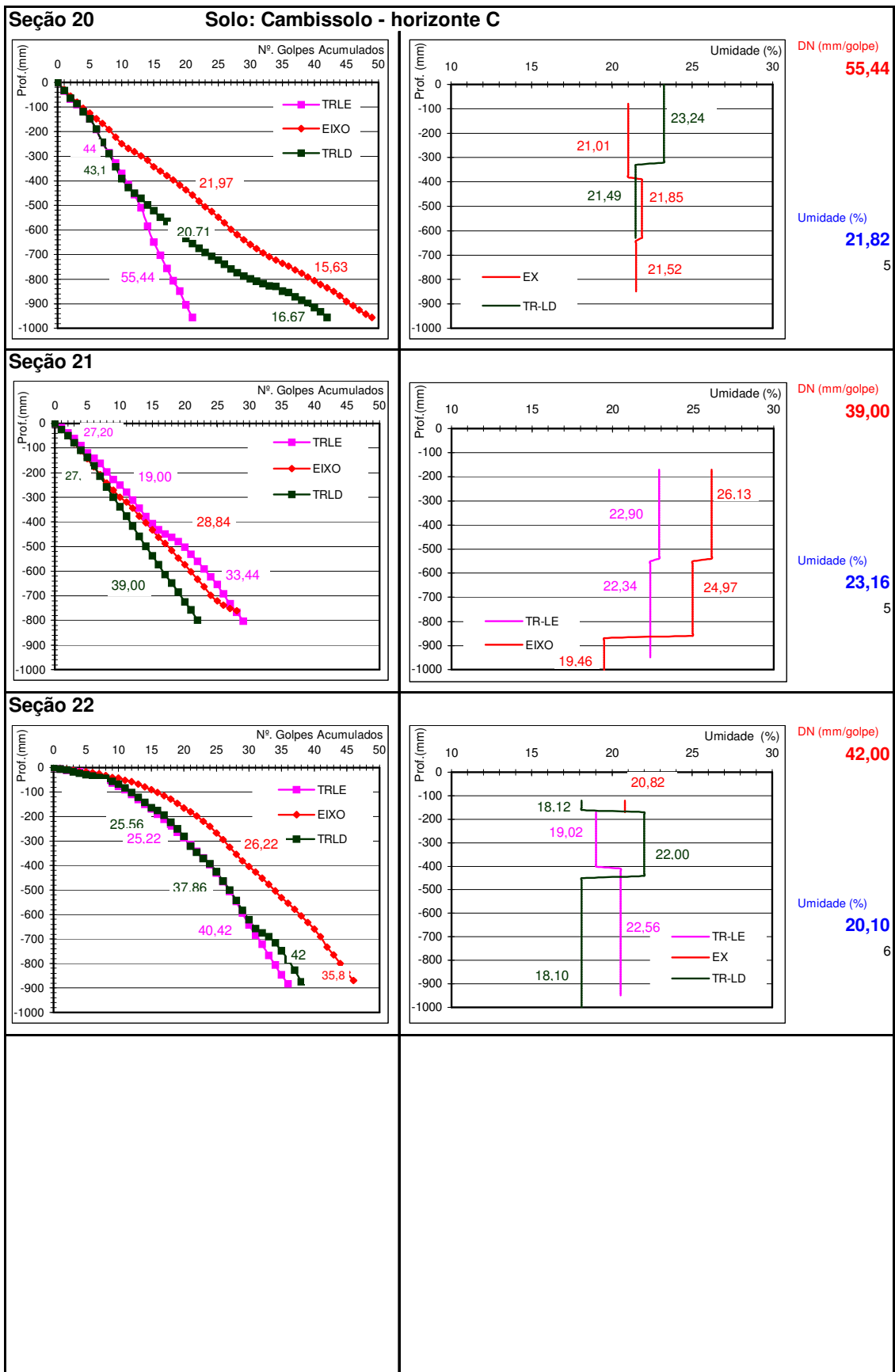












ANEXO A3 :

ÁBACOS DE DIMENSIONAMENTO

DA

UNIDADE GEOTÉCNICA DE

CAMBISSOLO

SUBSTRATO GRANITÓIDES

ANEXO A3 : ÁBACOS DE DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE GEOTÉCNICA DE CAMBISSOLO SUBSTRATO GRANITÓIDES

São apresentados 8 ábacos de dimensionamento da Unidade Geotécnica **Cambissolo** substrato **Granitóides** da Ilha de São Francisco do Sul, referentes as amostras coletadas na Jazida J1 do Morro do Ubatuba e do bairro Jardim Acarai (horizonte B e C). As Unidades Geotécnicas, identificação das amostras e ábacos são:

- **CAMBISSOLO – HORIZONTE C – SAIBRO - substrato Granitóide (AMOSTRA 1)**

ÁBACO 1 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprolítico (saibro), grupo NA' (MCT): PMSP/92.

ÁBACO 2 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprolítico (saibro), grupo NA' (MCT): DNER/79.

- **CAMBISSOLO – HORIZONTE C - substrato Granitóide (AMOSTRA 2)**

ÁBACO 3 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

ÁBACO 4 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro “in situ”, DNER/79.

- **CAMBISSOLO – HORIZONTE B - substrato Granitóide (AMOSTRA 3)**

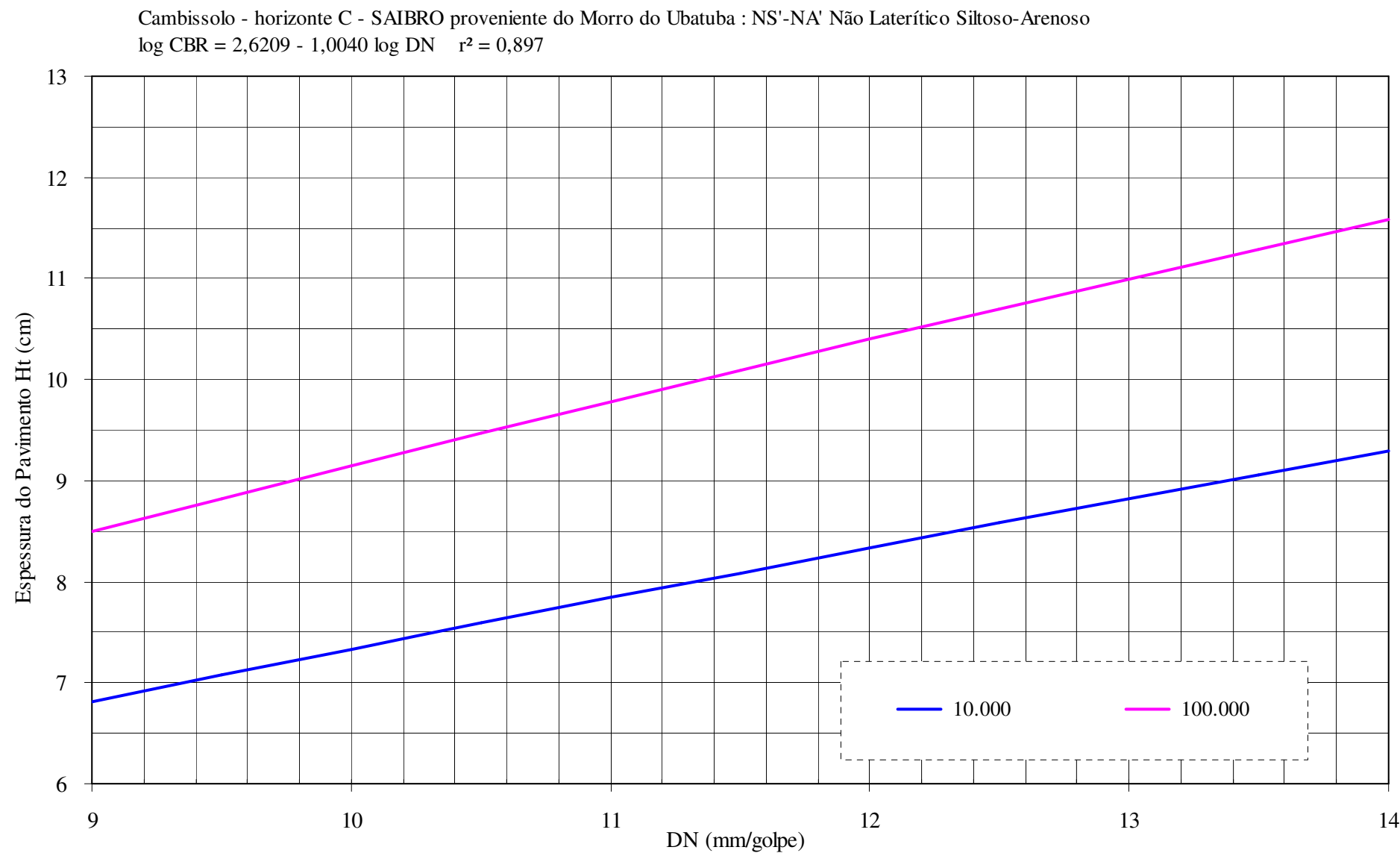
ÁBACO 5 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

ÁBACO 6 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, DNER/79.

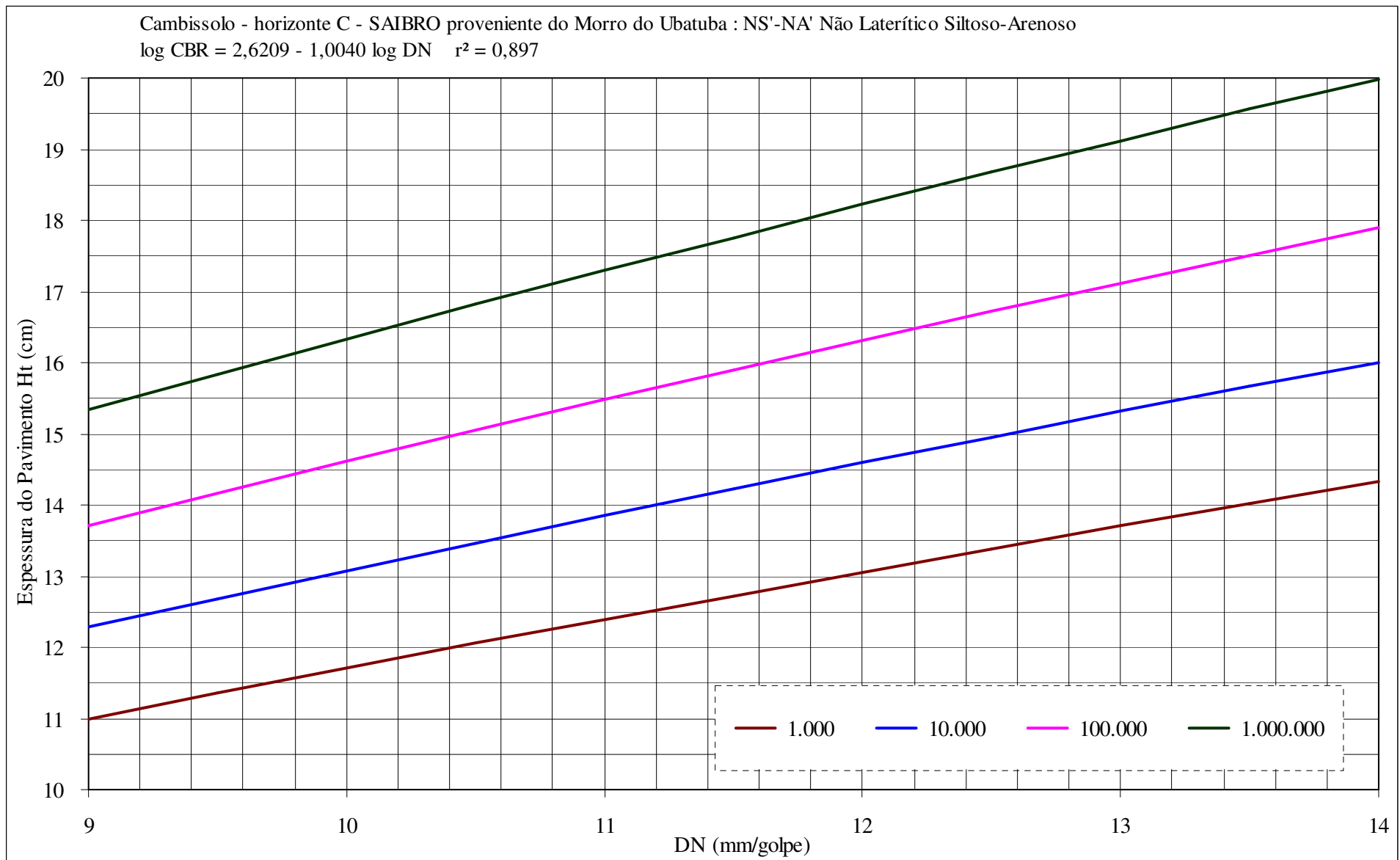
ÁBACO 7 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Regularização/Reforço, PMSP/92.

ÁBACO 8 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Regularização/Reforço, DNER/79.

ÁBACO 1 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprolítico (saibro), grupo NA' (MCT): PMSP/92.

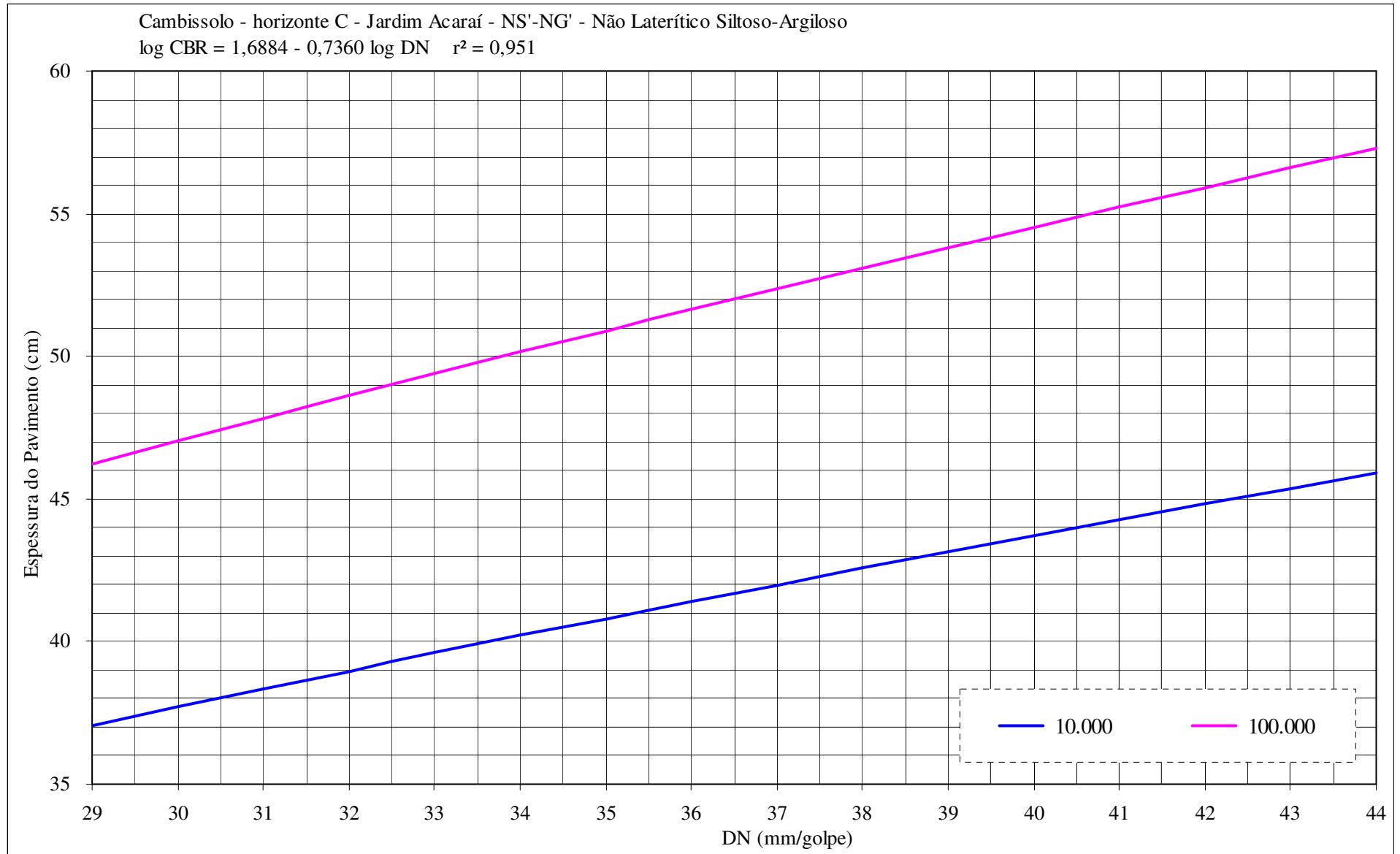


ÁBACO 2 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, saprolítico (saibro), grupo NA' (MCT): DNER/79.



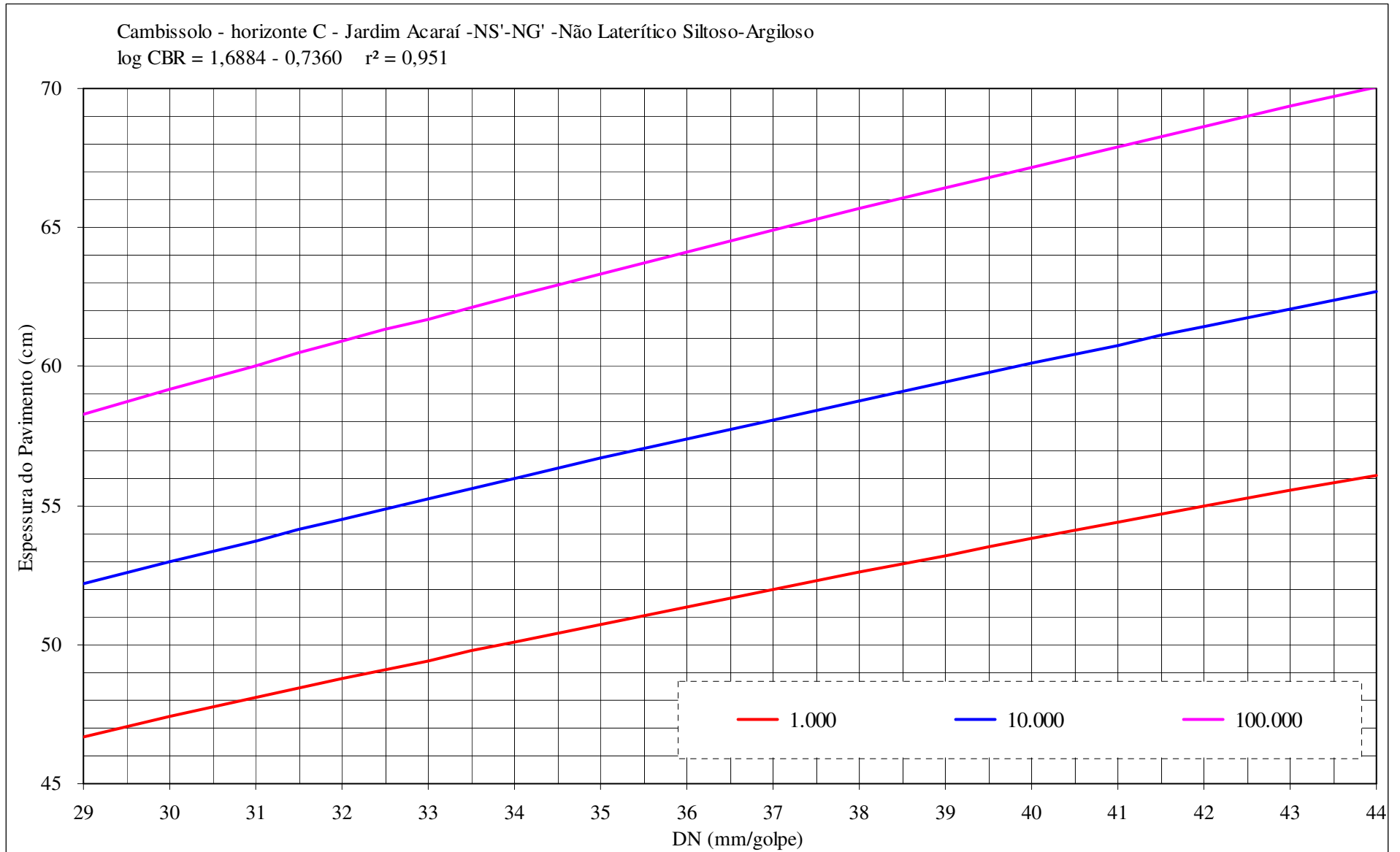
ÁBACO 3 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG' (MCT): Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

248



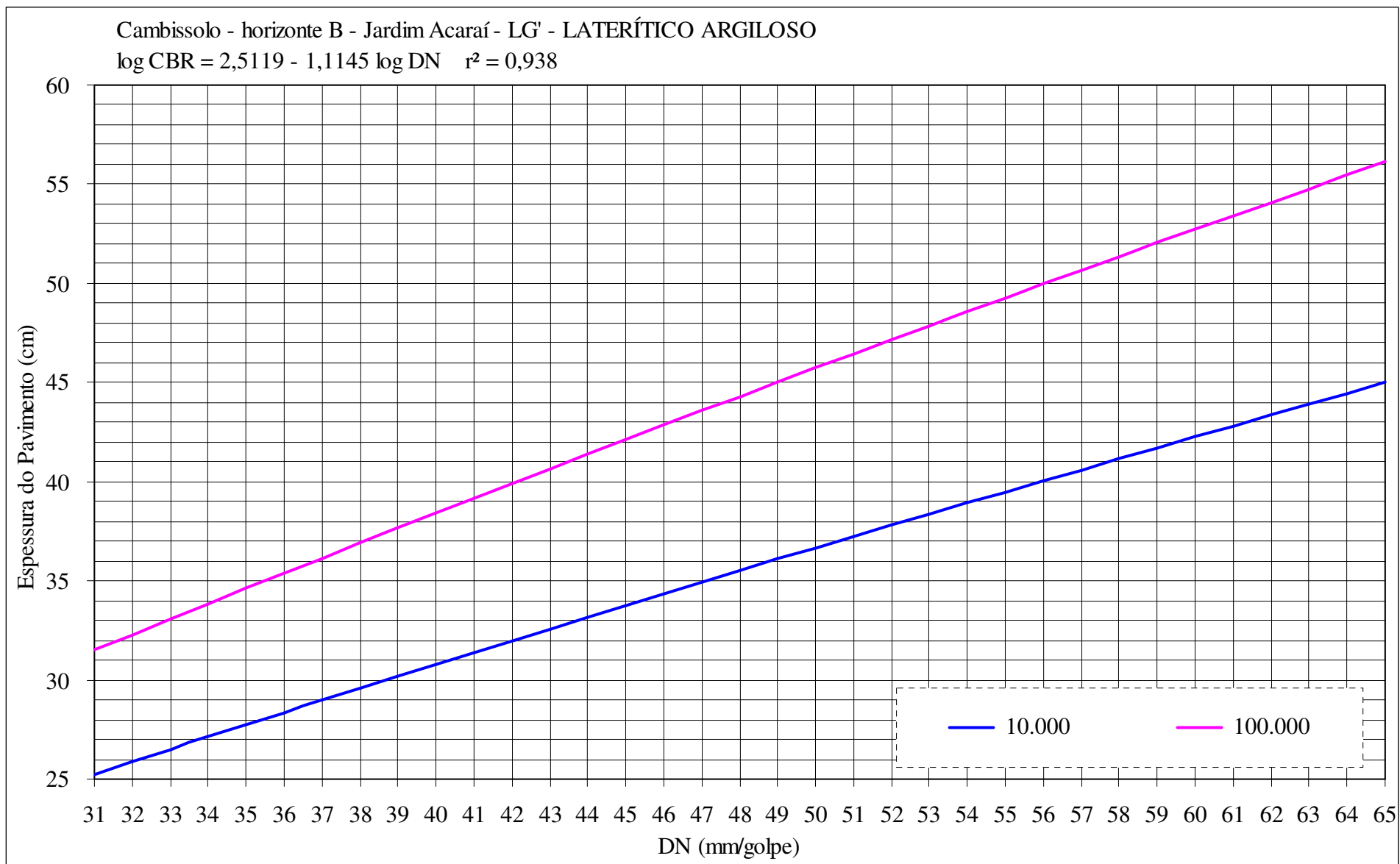
ÁBACO 4 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte C, bem intemperizado, grupo NS'-NG'(MCT): Corpo de Aterro “in situ”, DNER/79.

249

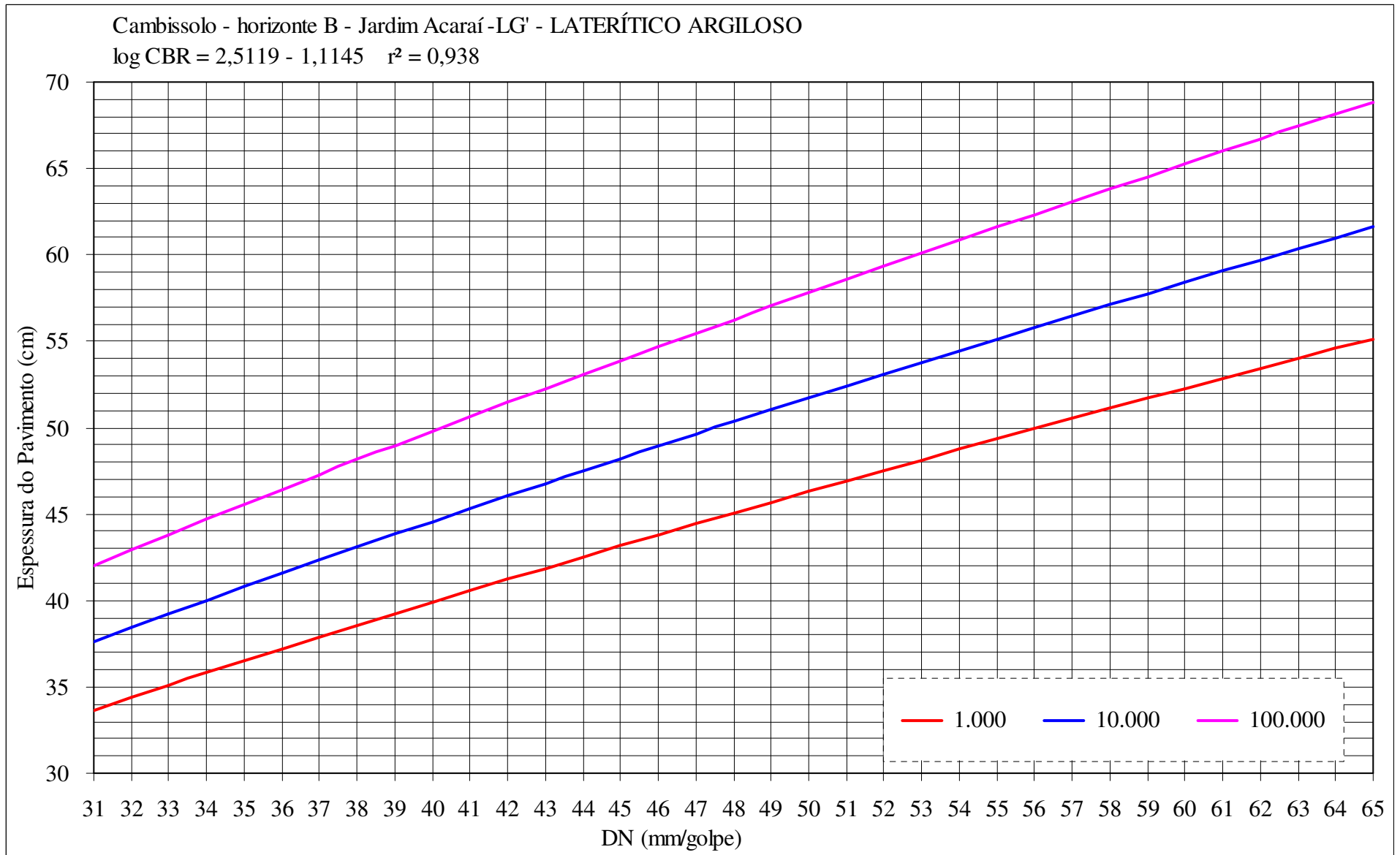


ÁBACO 5 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”, PMSP/92.

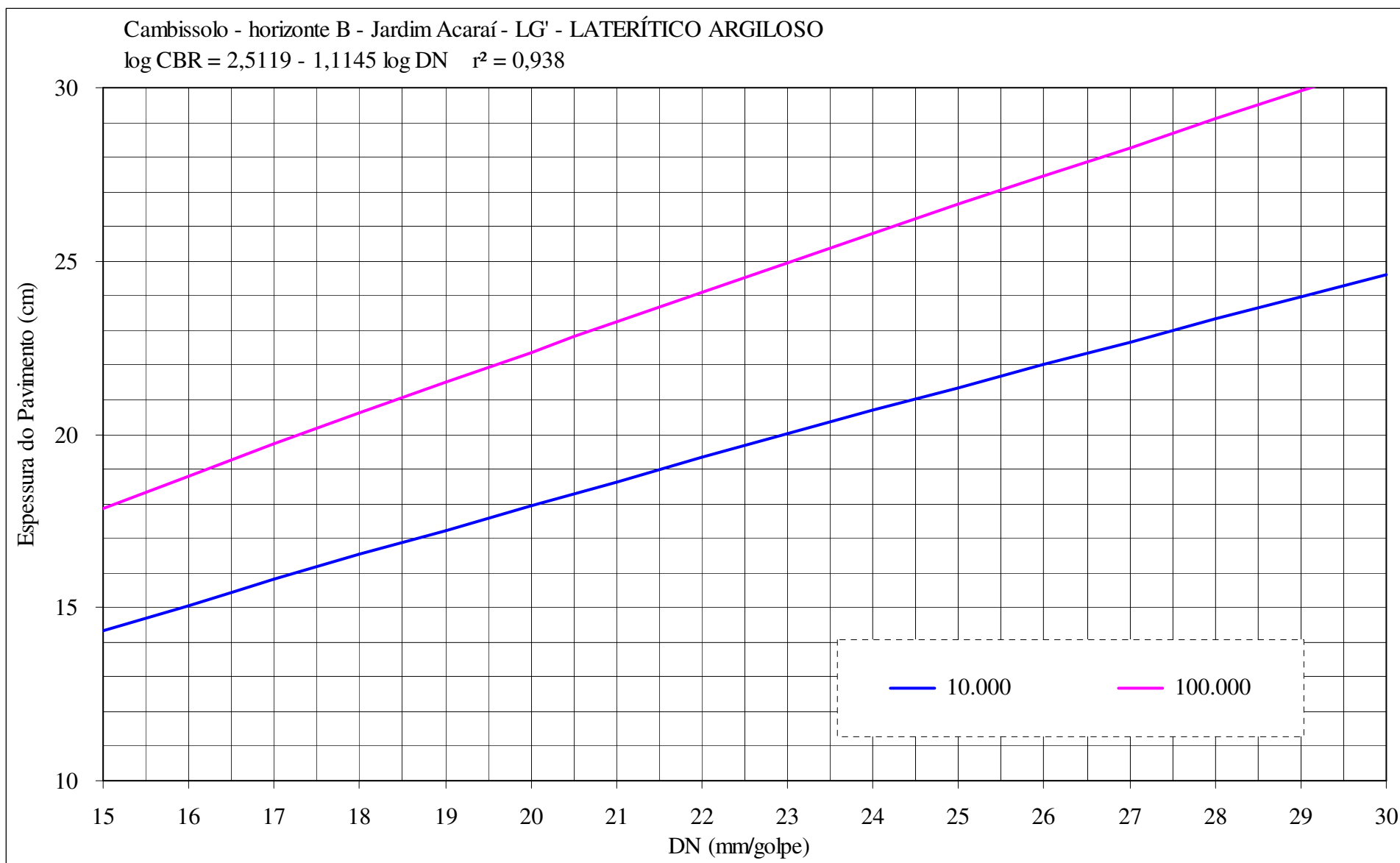
250



ÁBACO 6 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Corpo de Aterro “in situ”,DNER/79.



ÁBACO 7 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Regularização/Reforço, PMSP/92.



ÁBACO 8 - Ábaco de dimensionamento de Cambissolo – horizonte B, grupo LG' (MCT) : Regularização/Reforço, DNER/79.

